

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут агроєкології і землеустрою  
Кафедра екології, технології захисту навколишнього  
середовища та лісового господарства

**05-02-322М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для виконання практичних робіт та самостійної роботи з  
навчальної дисципліни  
«Сільськогосподарська радіобіологія» для здобувачів вищої  
освіти третього (доктор філософії) рівня вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою «Агрономія» спеціальності  
201 «Агрономія » денної і заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою ННІ  
агроєкології та землеустрою  
протокол № 4 від 28.12.2020 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки для виконання практичних робіт та виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни «Сільськогосподарська радіобіологія» третього (доктор філософії) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Клименко М. О., Клименко О. М. – Рівне : НУВГП, 2021. – 74 с.

Укладачі:

Клименко М. О., доктор с.-г. н., професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства,

Клименко О. М., доктор с.-г. н., професор кафедри менеджменту.

Відповідальний за випуск: Клименко М. О., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства

Керівник проектної групи,  
гарант ОНП 201 «Агрономія»

Клименко М. О.

© Клименко М. О.,

Клименко О. М., 2021

© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2021

## ЗМІСТ

### ПЕРЕДМОВА

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ
3. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ
  - 1.1 Практична робота №1  
Основні вимоги до роботи в радіаційних лабораторіях
  - 1.2 Практична робота №2  
Основні санітарні правила при роботі з радіоактивними речовинами
  - 1.3 Практична робота №3  
Норми радіаційної безпеки при роботі з радіоактивними речовинами
  - 1.4 Практична робота №4  
Вивчення методики відбору та підготовки зразків навколишнього природного середовища для проведення радіометричних вимірювань
  - 1.5 Практична робота №5  
Вивчення основних методів вимірювання радіоактивності
  - 1.6 Практична робота №6  
Прогноз вмісту радіонуклідів у сільськогосподарській продукції
  - 1.7 Практична робота №7  
Характеристика заходів, спрямованих на зменшення надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва
  - 1.8 Практична робота №8  
Основні принципи ведення тваринництва на радіоактивно забруднених територіях
  - 1.9 Практична робота №  
Особливості ведення зрошувального землеробства після аварії на ЧАЕС
4. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
5. САМОСТІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧІВ
  - 5.1 Контроль самостійної роботи
  - 5.2 Підготовка реферату
6. ПИТАННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ ЗНАЬ
7. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

## ПЕРЕДМОВА

Нагальні екологічні проблеми сьогодення підсилюються радіаційним забрудненням значних території внаслідок катастрофи на ЧАЕС, радіаційних аварійних ситуацій та неправильним використанням, зберіганням, утилізації джерел іонізуючого випромінювання.

Основними і потенційними джерелами радіаційного забруднення в мирний час є атомні електростанції, підприємства з виробництва ядерного палива, склади ядерної зброї, підприємства по переробці ядерних відходів, місця захоронення відходів, тощо.

Зараз в Україні працюють 14 енергетичних ядерних реакторів. Значна частина енергетичних ядерних реакторів Росії знаходиться в межах можливої трансграничної дії аварійної ситуації. В медицині, промисловості, наукових закладах використовуються декілька десятків тисяч радіоактивних джерел. Величезна кількість ( близько 800 ПБк) радіонуклідів знаходиться в об'єкті “Укриття” Чорнобильської зони відчуження.

Незважаючи на великі зусилля щодо підвищення безпеки експлуатації ядерних реакторів та інших ядерних об'єктів, всі вони є джерелами ядерної небезпеки і потенційними джерелами радіаційного забруднення навколишнього середовища.

Основними забруднюючими факторами при радіаційному забрудненні (наприклад, в результаті аварії на АЕС ) є радіоактивне випромінювання (в перші години після виникнення аварійної ситуації) та внутрішнє опромінення від радіонуклідів, що попадають в організм людини з продуктами харчування та водою.

Тому в цих умовах сучасний фахівець-агроеколог повинен вміти: виявляти джерела забруднення довкілля, вести радіологічний моніторинг, оцінювати радіологічну ситуацію, розробляти заходи зменшення надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію, прогнозувати рівні

забруднення сільськогосподарської продукції та сумарні ефективні еквівалентні дози опромінення людини.

Отримати певні вміння та компетентності з радіобіології допоможуть ряд практичних робіт запропонованих у методичних вказівках.

Навчальна дисципліна «Сільськогосподарська радіобіологія» спрямована на набуття здобувачами третього рівня вищої освіти **компетентностей: СК-14** Здатності забезпечувати стійкого виробництва екобезпечної с/г продукції, збалансованого використання природного біоенергетичного потенціалу агроecosystem, мінімізувати негативний вплив техногенезу на агросферу; **СК-19** Здатність розроблення та удосконалення систем моніторингу стану агроecosystem, ґрунтового покриву, агро-еколого-меліоративного стану осушуваних земель, якості рослинницької продукції; та **програмних результатів** навчання: **ПРН33** Володіти знаннями застосування системи орґано-мінеральних добрив для отримання рослинницької продукції з мінімальним вмістом радіонуклідів; **ПРН34.** Володіти знаннями застосування меліорантів органічного, мінерального походження для отримання врожаїв сільськогосподарських культур із вмістом радіонуклідів, що не перевищують ДР-2006.

Вивчення навчальної дисципліни складається з лекційних, практичних занять та самостійної роботи. Лекція – це вид заняття з вивчення нового матеріалу. На практичних (лабораторних) заняттях студент повинен навчитися розв’язувати задачі, дискутувати та висловлювати свої думки по заданій тематиці.

Самостійна робота студентом проводиться у вільній від аудиторних занять час і передбачає: засвоєння лекційного матеріалу, підготовку до практичних занять, участь у наукових дослідженнях.

# 1. Опис навчальної дисципліни «Сільськогосподарська радіобіологія» для спеціальності 201 «Агрономія»

Найменування показників	Доктор філософії (PhD)	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів відповідних ECTS – 3,0	Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»	Вибіркова навчальна дисципліна	
Модулів - 1	Спеціальність 201 «Агрономія»	Рік підготовки	
Змістових модулів - 2		За вибором	
Загальна кількість годин 90		Семестр	
		За вибором	
Тижневих годин для денної форми навчання: Аудиторних – 4 СРС - 8	Рівень вищої освіти: доктор філософії	Лекції	
		14	2
		Практичні	
		16	8
		Самостійна робота	
		60	80
		Вид контролю: залік	

## Примітка:

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 33% до 67%

для заочної форми навчання – 11% до 89%

## 2. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Метою** вивчення дисципліни здобувачами є вивчення закономірностей міграційних процесів радіонуклідів в трофічних ланцюгах, організації агропромислового виробництва на територіях, що забрудненні радіоактивними речовинами.

Завданням навчальної дисципліни є формування у здобувачів розуміння небезпечності надходження радіоактивних речовин у навколишнє середовища та особливостей ведення господарської діяльності на забруднених територіях. В результаті вивчення дисципліни студенти повинні **знати:**

- завдання сільськогосподарської радіобіології;
- сучасні радіоекологічні проблеми;
- основні радіоекологічні поняття, закони та одиниці;
- міграційні процеси радіонуклідів в системі «грунт-рослина-тварина-людина»;
- взаємодію іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами;
- організацію агропромислового виробництва на забруднених радіонуклідами територіях;

### **вміти:**

- виявляти джерела забруднення довкілля;
- вести радіоекологічний моніторинг;
- оцінювати радіоекологічну ситуацію;
- розробляти заходи зменшення надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію;
- прогнозувати рівні забруднення сільськогосподарської продукції та сумарні ефективні еквівалентні дози опромінення людини.

### 3. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

#### Практична робота №1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РОБОТИ В РАДІАЦІЙНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

*Мета роботи:* ознайомитися з основними вимогами до обладнання радіологічних, радіобіологічних лабораторій, з'ясувати за якими принципами виділяють класи робіт з радіоактивними речовинами.

##### *Основні поняття*

Для визначення рівня радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції, будівельних матеріалів та сировини використовують різні методи та засоби. Всі аналізи на предмет радіоактивного забруднення здійснюють у радіологічних лабораторіях. Ці лабораторії обладнані відповідно до класу робіт з радіоактивними речовинами.

Всі роботи з використанням відкритих радіаційних джерел поділяють на три класи. Клас робіт залежить від групи радіоактивної небезпеки радіонукліда і фактичної його активності на робочому місці. Радіонукліди як потенційні джерела внутрішнього опромінення поділяються за ступенем радіаційної небезпеки (спадуючий ряд) на чотири групи А, Б, В, Г.

У випадку наявності на робочому місці радіонуклідів різних груп радіаційної небезпеки активність зводять до групи А радіаційної небезпеки, при цьому використовують формулу:

$$C = C(A) + 0,1C(B) + 0,01C(V) + 0,001C(\Gamma),$$

де С - сумарна активність, зведена до групи А радіаційної небезпеки, мкКі; С(А), С(Б), С(В), С(Г) - активність нуклідів з групою радіаційної небезпеки відповідно А, Б, В, Г, мкКі.

Згідно з положеннями ОСП-72/87 ( Основних санітарних



правил роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючих випромінювань), всі види робіт з радіоактивними речовинами залежно від груп радіотоксичності нуклідів та їх активності на робочому місці, поділяються на 3 класи (табл. 1.1).

Розміщення та обладнання приміщень в установах визначають класом робіт з радіоактивними речовинами. Детально наведемо характеристику приміщень для кожного класу робіт.

Таблиця 1.1

Характеристика класу робіт з радіоактивними речовинами

Група радіотоксичності	Мінімально значима активність, мкКі	Активність на робочому місці, мкКі		
		Клас робіт		
		I	II	III
A	0.1	$>10^4$	$10 - 10^4$	$0.01 - 10$
B	1.0	$>10^5$	$100 - 10^5$	$1 - 100$
B	10.0	$>10^6$	$10^3 - 10^6$	$100 - 10^3$
Г	100.0	$>10^7$	$10^4 - 10^7$	$10^3 - 10^4$

### *Приміщення для I класу робіт*

Приміщення для I класу робіт розташовано в окремій будівлі або в ізольованій її частині з відповідно обладнаним окремим входом через санпропускник.

**Санпропускник** - приміщення, призначене для зміни одягу, взуття, санітарної обробки персоналу, контролю радіоактивного забруднення шкіри, засобів індивідуального захисту, спеціального й особистого одягу персоналу.

Лабораторія 1-го класу поділяється на 3 зони:

- I зона - це камери, бокси та інші герметично обладнані відділи, де зберігається технологічне обладнання та комунікації, які є джерелами іонізуючого випромінювання;
- II зона - ремонтно-транспортне приміщення, яке періодично обслуговується для проведення робіт, пов'язаних з відкриттям технологічного обладнання, вузлів завантаження

та розвантаження, а також тимчасового зберігання і видалення відходів радіоактивних речовин;

- III зона - це приміщення для постійного перебування обслуговуючого персоналу, пульти управління, операторські та інше.

При санітарних шлюзах (саншлюз - приміщення між зонами установи, призначене для попередньої дезактивації і зміни додаткових засобів індивідуального захисту) між II та III зонами передбачається встановлення обладнання для попередньої очистки підошв взуття, миття пневмокостюмів безпосередньо на людині, дозиметричний пункт з умивальником та гардероб з контейнером для спецодягу.

#### *Приміщення для 2 класу робіт*

Приміщення для 2 класу робіт розташовано ізолювано від інших з санпропускником або душем та дозиметричним постом. Приточно-витяжна вентиляція повинна забезпечувати п'ятикратний обмін повітря за 1 годину.

#### *Приміщення для 3 класу робіт*

Приміщення для 3-го класу робіт обладнують відповідно до вимог хімічних лабораторій, з обладнанням їх приточно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує трикратний обмін повітря за 1 годину. Передбачається використання столів та шаф зі слабосорбуючим покриттям.

Внутрішнє планування та обладнання лабораторій повинно сприяти зниженню потужності дози випромінювання до гранично допустимих значень, з площею на одного працівника не менше 10 м<sup>2</sup>.

Всі лабораторії не повинні розмішуватися в житлових приміщеннях та дитячих установах.

Право (санітарний паспорт) на отримання, зберігання та використання радіоізотопів в приміщеннях видають органи санітарно-епідеміологічної служби на основі акту комісії.

#### *Спеціалізовані лабораторії*

До спеціалізованих лабораторій належать радіоспектрометрична, радіологічна, радіобіологічна,

радіохімічна, радіометрична.

*Радіологічна або радіобіологічна лабораторії* включають в себе такі приміщення:

- *сховище-фасова* - площа не менше 15-20 м<sup>2</sup>;
- *преparatorська радіохімічна* - площа 45 м<sup>2</sup>;
- *кімната радіометричних вимірювань* - площа 40-45 м<sup>2</sup>;
- *радіоспектрOMETрична* - площа 25 м<sup>2</sup>;
- санпропускник та побутові приміщення.

*Радіохімічна преparatorська кімната* використовується для виконання робіт з відкритими радіоактивними ізотопами в рідкому, твердому або газоподібному стані. В даній лабораторії проводяться дослідження хімічних властивостей радіоактивних елементів, кількість яких може вимірюватись від вагових одиниць до лічених атомів, та одержання радіоактивних ізотопів.

*Радіометрична лабораторія* призначена для проведення науково-дослідних робіт з радіометрії. Це роботи з визначення питомої та об'ємної радіоактивності.

*РадіоспектрOMETрична лабораторія* призначена для визначення ізотопного складу радінуклідів - дослідження спектрів поглинання і випромінювання речовин в радіодіапазоні довжини хвилі.

### ***Поводження з радіоактивними речовинами***

У всіх приміщеннях, де проводиться робота з відкритими радіоактивними джерелами обов'язковим є щоденне вологе прибирання, щомісячне прибирання з миттям підлоги, стін, дверей та вікон, забороняється сухе прибирання. У випадку розливу радіоактивного розчину або розсипання порошку необхідно: виключити вентиляцію (для уникнення посиленого випаровування та пилоутворення); надіти індивідуальні засоби захисту; вжити заходи щодо збору та видалення радіоактивних речовин. Для дезактивації забрудненої поверхні використовують: миючі засоби ОП-7, ОП-10, щавелеву, лимонну та соляну кислоти, фосфати та інші спеціальні речовини в певних співвідношеннях.

Допустимі рівні забруднення лабораторій наведено у відповідних таблицях ОСП-72/87.

Зберігання радіоактивних речовин та поводження з радіоактивними відходами. Еталонні джерела та радіоактивні препарати зберігають в сейфах.  $\gamma$ -активні препарати зберігають в спеціальних сейфах (СЗ, ССП, 2-ССЗ), які мають свинцевий захист, товщиною 20-50 мм.  $\beta$ -активні препарати зберігають в сейфах, виготовлених з вуглецевої сталі товщиною 3-4 мм.

При виконанні науково-дослідних робіт появляються радіоактивні відходи, які не придатні для подальшої роботи.

Згідно з ОСП-72/87 радіоактивні відходи поділяють на: *тверді* - це деталі, матеріали, біологічні об'єкти, відпрацьовані радіонуклідні джерела; *рідкі* це розчини неорганічних речовин, пульпа фільтроматеріалів, органічні рідини та інше.

Тверді відходи вважаються радіоактивними при питомій активності їх понад  $2.7 \times 10^{-7}$  Кі/кг для  $\alpha$ -випромінювання (для трансуранових елементів -  $1 \times 10^{-8}$ ). Для  $\beta$ -активних відходів відповідно  $2 \times 10^{-6}$  Кі/кг. Для  $\gamma$ -активних відходів -  $10^{-7}$  г-екв (грам-еквівалент) Ra/кг.

$\gamma$  - еквівалент джерела - це умовна маса джерела  $^{226}\text{Ra}$ , що створює на даній віддалі таку ж потужність експозиційної дози, як і це джерело.

Рідкі відходи за питомою активністю поділяють на: *слабоактивні* - активність яких нижче  $10^{-5}$  Кі/л; *середньоактивні* - з активністю від  $10^{-5}$  до 1 Кі/л; *високоактивні* - з активністю понад 1 Кі/л.

При умові перевищення концентрації рідких радіоактивних відходів не більше ніж в 10 разів ДК (допустимої концентрації) для води допускається їхній скид у комунально-побутову каналізацію, при умові забезпечення десятикратного їхнього розведення нерадіоактивними стоками. В іншому випадку, рідкі та тверді відходи збирають у спеціальні ємкості, для подальшого захоронення, або відправки на спеціалізовані підприємства для переробки.

Короткоживучі радіоактивні відходи (з періодом напіврозпаду до 15 діб) витримують до безпечного зниження їхньої активності, після чого тверді радіоактивні відходи видаляють як звичайні сміття, а рідкі скидають у комунально-господарську каналізацію.

Вибухо- та вогнєнебезпечні радіоактивні відходи перед видаленням переводять у вибухо- та вогнєнебезпечний стан. Тому збір радіоактивних відходів повинен проводитись роздільно, в залежності від їхнього фізичного стану, вибухо- та вогнєнебезпеки і періоду напіврозпаду.

Щорічно комісія, назначена керівником установи перевіряє правильність ведення обліку радіоактивних речовин, як переданих на захоронення, так і тих, що знаходяться в лабораторії.

### Хід роботи

1. Відповідно до варіанта випишіть вихідні дані (табл 1.2).

Таблиця 1.2

Вихідні дані

Показники	Номер варіанта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Група токсичності речовини	А	Б	В	Б	В	А	Г	Б	Г	А
Активність на робочому місці, мкКі	12000	$10^6$	$10^8$	120	$10^4$	0,1	$10^3$	10	$10^6$	100

2. Встановіть, до якого класу робіт з радіоактивними речовинами належать запропоновані умови.
3. Визначте та охарактеризуйте приміщення для встановленого класу робіт з радіоактивними речовинами.
4. Охарактеризуйте різні види радіологічних лабораторій.
5. Зробіть висновки.

## Питання для самоконтролю

1. Чим зумовлена необхідність поділу робіт з радіоактивними речовинами на класи?
2. Залежно від яких показників поділяються всі види робіт з радіоактивними речовинами на 3 класи?
3. Охарактеризуйте класи робіт з радіоактивними речовинами.
4. У чому полягають особливості розміщення та обладнання приміщень в установах де виконують роботи з радіоактивними речовинами?
5. З'ясуйте сутність поводження з радіоактивними речовинами.
6. Які види виділяють спеціалізованих лабораторій радіаційного контролю? Охарактеризуйте їх.
7. Які види радіоактивних відходів формуються в радіаційних лабораторіях?

## Практична робота №2 ОСНОВНІ САНІТАРНІ ПРАВИЛА ПРИ РОБОТІ З РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

*Мета роботи:* Ознайомитися з основними санітарними правилами при роботі з радіоактивними речовинами.

### *Основні поняття*

Згідно з основними санітарними правилами (ОСП 72/87) при роботі з радіоактивними речовинами людина може отримати зовнішнє та внутрішнє опромінення.

*Зовнішнє опромінення* - вплив іонізуючого випромінювання на організм із зовні; *внутрішнє* або *інкорпороване* - вплив іонізуючого випромінювання на організм або окремі його органи радіонуклідами, що містяться в середині організму.

Всі джерела випромінювання поділяють на *закриті*

(виключається можливість надходження радіоактивних речовин в навколишнє середовище, а отже й можливість внутрішнього опромінення - це диски, сплави, злитки, стержні тощо) і *відкриті* (є можливість надходження радіоактивних речовин в навколишнє середовище, а отже може мати місце як зовнішнє, так і внутрішнє опромінення - це рідини, порошки, гази тощо);

В ОСП-72/87 всі радіонукліди, як потенційні джерела внутрішнього опромінення, умовно розділені на 4 групи за радіотоксичністю (табл. 2.1 ).

1. Група А - *особливо радіотоксичні*, їхня активність на робочому місці не повинна перевищувати 0.1 мкКі. До них належать 39 ізотопів, в тому числі Pb -210, Po-210, Ra-226, Pu-239 та Pu-240, Am-24 та інші трансуранові елементи.

2. Група Б - *високорадіотоксичні*, їхня активність на робочому місці не повинна перевищувати 1 мкКі. Це 23 ізотопи, зокрема Sr-90, B-131, Ru-106, Ra-223, Th-227 та інші.

3. Група В - *середньорадіотоксичні*, допустима активність яких на робочому місці на повинна бути вищою 10 мкКі. До них належать 162 ізотопи, в тому числі: Na-24, P-32, S-35, K-42, Mn-56, Co-60, Sr-89, Cs-134, Cs-137, Ba-140, Ce-144;

4. Група Г - *малорадіотоксичні*, допустима концентрація яких на робочому місці не повинна перевищувати 100 мкКі. До них належить 45 ізотопів, в тому числі: H-3, C-14, P-33, Cu-64, Pt-197 та інші.

При роботі з радіаційними речовинами передбачено захист від випромінювання. В комплексі заходів із захисту враховують також вид іонізуючого випромінювання:  $\alpha$ -, та  $\beta$ -частинки,  $\gamma$ -кванти.

*$\alpha$ -частинки* пробігають в повітрі від 2.4 до 11.0 см (залежно від енергії), а в біологічній тканині соті долі міліметра. Тому одяг та гумові рукавиці повністю захищають від зовнішнього  $\alpha$ -випромінювання.

*$\beta$ -частинки* пробігають в повітрі від 10 см до 25 м, а у

біологічних тканинах - до 7.5 мм, і діють в основному на покривні тканини та роговицю ока. Повного захисту від  $\beta$ -частинок немає. Але для захисту від  $\beta$ -випромінювання застосовують екрани з матеріалів, які мають малу атомну масу (скло, плексиглас, алюміній), або двошарові екрани: перший - для поглинання  $\beta$ -частинок та додатково другий - з важких металів (свинець та інші) для поглинання гальмівного рентгенівського випромінювання, що утворюється.

$\gamma$ -випромінювання викликає слабку іонізуючу дію при значній проникаючій здатності: пробіг  $\gamma$ -квантів в повітрі -100 - 150 м, в біологічній тканині - декілька метрів.

Таблиця 2.1

Класифікація радіонуклідів за відносною токсичністю

Група токсичності	Радіонукліди
А Надзвичайно високо-токсичні	$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ , $^{210}\text{Pb} + ^{210}\text{Bi}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{211}\text{At}$ , $^{226}\text{Ra}$ + дочірні, $^{228}\text{Ra}$ , $^{227}\text{Ac}$ , трансуранові
Б Дуже токсичні	$^{45}\text{Ca}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{89}\text{Sr}$ , $^{91}\text{Y}$ , $^{107}\text{Ru}$ + $^{106}\text{Rh}$ , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , $^{126}\text{I}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{140}\text{Ba}$ + $^{140}\text{La}$ , $^{144}\text{Ce}$ , + $^{144}\text{Pr}$ , $^{151}\text{Sm}$ , $^{152}\text{Eu}$ , $^{154}\text{Eu}$ , $^{170}\text{Tm}$ , $^{207}\text{Bi}$ , $^{223}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ac}$ , $^{227}\text{Th}$ , $^{228}\text{Th}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{234}\text{Th}$ , $^{230}\text{Pa}$ , $^{231}\text{Pa}$ , $^{230}\text{U}$ до $^{238}\text{U}$
В Середньо-токсичні	$^{14}\text{C}$ , $^{16}\text{N}$ , $^{22}\text{Na}$ , $^{31}\text{Si}$ , $^{32}\text{P}$ , $^{35}\text{S}$ , $^{36}\text{Cl}$ , $^{42}\text{K}$ , $^{47}\text{Ca}$ , $^{46}\text{Sc}$ , $^{47}\text{Sc}$ , $^{48}\text{Sc}$ , $^{48}\text{V}$ , $^{52}\text{Mn}$ , $^{64}\text{Mn}$ , $^{56}\text{Mn}$ , $^{55}\text{Fe}$ , $^{58}\text{Co}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{59}\text{Ni}$ , $^{63}\text{Ni}$ , $^{65}\text{Ni}$ , $^{64}\text{Cu}$ , $^{65}\text{Zn}$ , $^{69\text{m}}\text{Zn}$ , $^{72}\text{Ga}$ , $^{73}\text{As}$ , $^{74}\text{As}$ , $^{76}\text{As}$ , $^{77}\text{As}$ , $^{75}\text{Se}$ , $^{82}\text{Br}$ , $^{87}\text{Kr}$ , $^{88}\text{Kr}$ , $^{86}\text{Rb}$ , $^{88}\text{Rb}$ , $^{85}\text{Sr}$ , $^{89}\text{Sr}$ , $^{91}\text{Sr}$ , $^{92}\text{Sr}$ , $^{91}\text{Y}$ , $^{92}\text{Y}$ , $^{93}\text{Y}$ , $^{93}\text{Zr}$ + $^{93}\text{Nb}$ , $^{95}\text{Zr}$ + $^{95}\text{Nb}$ , $^{99}\text{Mo}$ , $^{96}\text{Tc}$ , $^{97\text{m}}\text{Tc}$ , $^{97}\text{Tc}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{103}\text{Ru}$ , $^{105}\text{Ru}$ , $^{105}\text{Rh}$ , $^{103}\text{Pd}$ + $^{103}\text{Rh}$ , $^{109}\text{Pd}$ , $^{105}\text{Ag}$ , $^{111}\text{Ag}$ , $^{109}\text{Cd}$ + $^{109}\text{Ag}$ , $^{115}\text{Cd}$ , $^{115\text{m}}\text{Cd}$ , $^{114\text{m}}\text{In}$ , $^{113}\text{Sn}$ , $^{122}\text{Sb}$ , $^{124}\text{Sb}$ , $^{125}\text{Sb}$ , $^{125\text{m}}\text{Te}$ , $^{129}\text{Te}$ , $^{132}\text{Te}$ , $^{133}\text{I}$ , $^{134}\text{I}$ , $^{135}\text{I}$ , $^{135}\text{Cs}$ , $^{136}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ + $^{137}\text{Ba}$ , $^{131}\text{Ba}$ , $^{141}\text{Ce}$ , $^{143}\text{Ce}$ , $^{142}\text{Pr}$ , $^{143}\text{Pr}$ , $^{146}\text{Nd}$ , $^{149}\text{Nd}$ , $^{147}\text{Pm}$ , $^{153}\text{Sm}$ , $^{152\text{m}}\text{Eu}$ , $^{155}\text{Eu}$ , $^{153}\text{Gd}$ , $^{159}\text{Gd}$ , $^{160}\text{Tb}$ , $^{166}\text{Dy}$ , $^{166}\text{Ho}$ , $^{169}\text{Er}$ , $^{171}\text{Er}$ , $^{171}\text{Tm}$ , $^{175}\text{Yb}$ , $^{177}\text{Lu}$ , $^{181}\text{Hf}$ , $^{182}\text{Ta}$ , $^{181}\text{W}$ , $^{185}\text{W}$ , $^{187}\text{W}$ , $^{183}\text{Re}$ , $^{186}\text{Re}$ , $^{188}\text{Re}$ , $^{191}\text{Os}$ , $^{190}\text{Ir}$ , $^{192}\text{Ir}$ , $^{194}\text{Ir}$ , $^{191}\text{Pt}$ , $^{193}\text{Pt}$ , $^{197}\text{Pt}$ , $^{196}\text{Au}$ , $^{198}\text{Au}$ , $^{199}\text{Au}$ , $^{197\text{m}}\text{Hg}$ , $^{197}\text{Hg}$ , $^{203}\text{Hg}$ , $^{200}\text{Te}$ , $^{202}\text{Te}$ , $^{204}\text{Te}$ , $^{303}\text{Pb}$ , $^{212}\text{Pb}$ , $^{206}\text{Bi}$ , $^{231}\text{Th}$ , $^{233}\text{Pa}$ , $^{240}\text{U}$
Г Помірно-токсичні	$^3\text{H}$ , $^7\text{Be}$ , $^{13}\text{N}$ , $^{17}\text{N}$ , $^{18}\text{F}$ , $^{38}\text{Ca}$ , $^{37}\text{Ar}$ , $^{41}\text{Ar}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{58\text{m}}\text{Co}$ , $^{69}\text{Zn}$ , $^{71}\text{Ge}$ , $^{77}\text{Kr}$ , $^{85}\text{Kr}$ , $^{85\text{m}}\text{Kr}$ , $^{87}\text{Rb}$ , $^{85\text{m}}\text{Sr}$ , $^{91\text{m}}\text{Y}$ , $^{97}\text{Nb}$ , $^{96\text{m}}\text{Tc}$ , $^{97}\text{Ru}$ , $^{103\text{m}}\text{Rh}$ , $^{113\text{m}}\text{In}$ , $^{115\text{m}}\text{In}$ , $^{115}\text{In}$ , $^{129}\text{Sb}$ , $^{133}\text{Te}$ , $^{131\text{m}}\text{Xe}$ , $^{133}\text{Xe}$ , $^{135}\text{Xe}$ , $^{131}\text{Cs}$ , $^{134\text{m}}\text{Cs}$ , $^{139}\text{Ba}$ , $^{141}\text{La}$ , $^{142}\text{La}$ , $^{145}\text{Ce}$ , $^{145}\text{Pr}$ , $^{146}\text{Pr}$ , $^{144}\text{Nd}$ , $^{147}\text{Sm}$ , $^{165}\text{Dy}$ , $^{187}\text{Re}$ , $^{193\text{m}}\text{Pt}$ , $^{201}\text{Tl}$ , природний U та Th



Захист від зовнішнього  $\gamma$ -випромінювання здійснюють за допомогою наступних заходів:

- зменшення тривалості роботи з джерелом випромінювання шляхом швидкої маніпуляції з препаратами в результаті високої кваліфікації персоналу та скорочення робочого дня;
- застосування захисних екранів з матеріалів, які мають велику атомну масою (свинець, чавун);
- збільшенням віддалі до джерела випромінювання (дистанційні інструменти, подовжувачі, маніпулятори). При збільшенні віддалі в двічі доза зменшується у 4 рази;
- використання для роботи джерел з мінімально можливим виходом випромінювання.

Товщина захисних екранів розраховується за шарами половинного послаблення ( $T_{1/2}$ ). *Шар половинного послаблення* - це товщина будь-якого матеріалу (речовини), яка знижує дозу проникаючої радіації в 2 рази (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Величина шару половинного послаблення  $\gamma$ -випромінювання для різних матеріалів

Матеріал	Густина, г/см <sup>3</sup>	Товщина шару, см
Вода	1	13,0
Деревина	0.7	21.0
Поліетилен	0.9	14.0
Склопластик	1.4	10.0
Бетон	2.3	5.6
Алюміній	2.7	6.5
Сталь, залізо	7.8	1.8
Свинець	11.3	1.3

## *Основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни*

При роботі з радіоактивними речовинами ОСП-72/87 та НРБУ-97 встановлюють основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни.

До засобів індивідуального захисту (умовно) відносять засоби індивідуального користування. Крім того, співробітники лабораторій забезпечуються халатами, шапочками, рукавицями, пластиковими наруківниками, фартухами, напівхалатами, напівкомбінезонами, пневмокостюмами, додатковим спецвзуттям (гумові чоботи, пластикові сліди, бахили, чохли).

При роботі з радіоактивними газами, аерозолями та порошками застосовують фільтруючі засоби захисту органів дихання (респіратор "Лепесток", "Снежок", протигаз), для захисту очей застосовують окуляри із оргскла. Матеріали, з яких виготовлено засоби захисту, повинні мати малу сорбційну здатність, легко відмиватися від радіоактивних речовин та відповідати гігієнічним вимогам.

Після закінчення роботи індивідуальні засоби захисту перевіряються на забрудненість, і при необхідності (перевищенні граничних значень) їх дезактивують.

При потраплянні радіоактивних речовин на шкіряний покрив - негайно миють руки 72% милом, або миючим порошком. При забрудненні волосся - його миють з використанням 3% лимонної кислоти. Очі слід промивати струменем теплої води при широко відкритих віках.

У приміщеннях де працюють з радіоактивними речовинами, не допускається:

- перебування співробітників без засобів індивідуального захисту;
- зберігання харчових продуктів та інших предметів, які не мають прямого відношення до виконуваних робіт;
- вживання їжі, паління цигарок, користування косметикою.

До безпосередньої роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання допускаються особи, старші 18 років, які пройшли обов'язковий медичний огляд і мають допуск до роботи.

Обов'язковим є щоденний радіаційний контроль за рівнем забруднення робочих поверхонь, обладнання, шкіряних покривів та спецодягу персоналу.

Два рази на місяць контролюють вміст радіоактивних речовин в повітрі робочих приміщень та один раз у квартал - в стічних водах.

Щомісячно проводиться індивідуальний контроль за дозами опромінення обслуговуючого персоналу.

### Хід роботи

1. Ознайомитися з основними санітарними правилами при роботі з радіоактивними речовинами.
2. Встановити групу токсичності радіонуклідів (відповідно до варіанта табл.2.3).
3. Ознайомитися з основними видами захисту від випромінювання.
4. Охарактеризувати основні санітарні правила індивідуального захисту та особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами.
5. Зробити висновки.

Таблиця 2.3

### Вихідні дані

Номер варіанта										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Радіонукліди										
а	Pb - 210	Sr- 90	Na- 24	Ra- 226	P-32	Ra- 223	S-35	K- 42	Th- 227	Pu- 239
б	Cs- 137	H-3	Am- 24	C-14	Co- 60	P-33	Po- 210	Cu- 64	Sr- 92	Pt- 197
в	B- 131	Sr- 91	Y- 91	Ru- 106	Zr- 93	Sr- 89	Y- 93	Pu- 240	Ba- 140	Mn- 56

### **Питання для самоконтролю**

1. Охарактеризуйте групи токсичності радіонуклідів. Наведіть приклади надзвичайно високотоксичних, дуже токсичних, середньо токсичних та помірнотоксичних радіонуклідів.
2. Що таке шар половинного послаблення?
3. З'ясуйте відмінності між зовнішнім та внутрішнім опроміненням організму.
4. Охарактеризуйте величину шару половинного послаблення  $\gamma$ -випромінювання для різних матеріалів, встановіть найбільш ефективний матеріал.
5. Охарактеризуйте властивості альфа, гамма, бета випромінювань, встановіть їхні відмінності.
6. З'ясуйте засоби захисту людини від альфа, гамма, бета випромінювань.
7. У чому полягають особливості індивідуального захисту від альфа, гамма, бета випромінювання?
8. Як часто проводять індивідуальний контроль персоналу, котрий працює із радіоактивними речовинами?
9. За допомогою яких приладів проводять індивідуальний контроль персоналу, котрий працює із радіоактивними речовинами?

### **Практична робота № 3**

## **НОРМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ**

*Мета роботи:* ознайомитися із загальними нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97).

### *Основні поняття*

НРБУ-97 (Норми радіаційної безпеки України - 97) є основним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів.

Мета НРБУ-97 - охорона здоров'я людини, безпечна експлуатація джерел іонізуючого випромінювання та охорона навколишнього середовища.

Основними принципами радіаційної безпеки є:

1. **Принцип виправданості** - будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватись, коли вона не приносить більше користі опроміненим особам чи суспільству ніж шкоди;

2. **Принцип неперевищення** - рівні опромінення не повинні перевищувати встановлених лімітів доз;

3. **Принцип оптимізації** - рівні доз опромінення та кількість опромінюваних осіб повинні бути мінімальними.

#### *Основні регламентовані величини НРБУ-97*

Вимоги НРБУ-97 поширюються на ситуації опромінення людей в таких умовах:

1. Нормальна експлуатація індустриальних джерел іонізуючого випромінювання. До цієї групи вимог входять:

- *ліміти доз (ЛД)* - норматив обмеження опромінення осіб категорій А, Б та В, з використанням показників ліміту ефективної дози та ліміту еквівалентної дози зовнішнього опромінення;

- *похідні рівні*, серед яких розрізняють *допустимі рівні (ДР)* - норматив надходження радіонуклідів в організм людини за календарний рік, усередненої річної потужності еквівалентної дози, концентрації радіонуклідів в повітрі, питній воді, раціоні та інше; *контрольні рівні (КР)* - регламенти, чисельні значення яких встановлюються керівництвом установи виходячи з фактично досягнутого на даному об'єкті рівня, за узгодженням з органами Держсанепідемнагляду.

2. Обмеження опромінення людини від медичних джерел. До цієї групи вимог входять:

- *рекомендовані рівні* - величина дози, потужності дози чи радіоактивності, що встановлюється Міністерством охорони здоров'я.

3. Опромінення населення в умовах радіаційної аварії:

- *рівні втручання* - рівні відвернутої дози (доза, що відвертається внаслідок застосування певного

контрзаходу), при перевищенні якої потрібно застосовувати контрзаходи;

- *рівні дії* - величина, похідна від *рівнів втручання*, що характеризується показниками, які можуть бути виміряні потужністю дози, активністю, щільністю забруднення та іншими.

4. Опромінення від техногенно підсилених джерел природного походження (природні джерела, які в результаті діяльності людини піддані концентруванню або збільшилися їхня доступність). До цієї групи належать *рівні втручання та рівні дії*.

НРБУ-97 встановлюють такі категорії осіб, які зазнають опромінення:

1. **Категорія А** (персонал), що безпосередньо працює з іонізуючим випромінюванням;

2. **Категорія Б** (персонал) - особи, крім осіб категорії А, що за професійною діяльністю можуть піддаватись додатковому впливу іонізуючого випромінювання;

3. **Категорія В** - все населення.

### **Радіаційно-гігієнічні регламенти першої групи**

1. Опромінення персоналу категорії А. Для персоналу (*категорія А*) ліміт індивідуальної річної ефективної дози ( $ЛД_E$ ) не повинен перевищувати  $20 \text{ мЗв рік}^{-1}$ . Особи, віком до 18 років до роботи з джерелами іонізуючого випромінювання не допускаються. Для осіб, у яких  $ЛД_E$  може перевищувати  $10 \text{ мЗв рік}^{-1}$ , є обов'язковим індивідуальний дозиметричний контроль.

При плануванні підвищеного опромінення персоналу використовується значення  $ЛД_{\text{max}}$  за один окремий рік -  $50 \text{ мЗв}$ . Опромінення персоналу, що планується, в дозах від 1 до  $2 \text{ } ЛД_{\text{max}}$  ( $50 - 100 \text{ мЗв рік}^{-1}$ ) дозволяється органами Держсанепідемнагляду. Опромінення персоналу, що планується, в дозах від 2 до  $5 \text{ } ЛД_{\text{max}}$  може бути дозволено лише в окремих випадках Міністерством охорони здоров'я один раз протягом всієї діяльності працівника. Планування

перевищеного опромінення жінок у віці 45 років та чоловіків, молодших 30 років, забороняється.

Числові значення *допустимих та контрольних рівнів* наведені в Додатку 2 НРБУ-97.

2. Опромінення персоналу категорії Б. Для персоналу (*категорія Б*) ліміт індивідуальної річної ефективної дози (ЛДЕ) не повинен перевищувати  $2 \text{ мЗврік}^{-1}$ . Значення величин *допустимих та контрольних рівнів* для цієї категорії встановлено на рівні 1/10 величин, наведених в Додатку 2 для персоналу категорії А.

Для вагітних жінок (категорії А, Б) встановлено величини *допустимих рівнів* (ДР) в 20 разів нижчі, ніж для відповідних допустимих рівнів персоналу категорії А.

3. Опромінення населення (*категорія В*). Контроль опромінення населення здійснюється на основі розрахунків річних ефективних та еквівалентних доз опромінення критичних груп осіб - це частина населення, яка за своїми статеві-віковими, соціально-професійними умовами, місцем проживання та іншими ознаками отримує чи може отримувати найбільші рівні опромінення від даного джерела. Структура, обсяг, методи і засоби цього контролю регламентуються відповідними розділами ОСПУ.

**Радіаційно-гігієнічні регламенти другої групи** (медичне опромінення населення). Протирадіаційний захист цього виду практичної діяльності ґрунтується на таких самих принципах - ***виправданості, оптимізації та неперевищення***.

Ліміти доз для обмеження медичного опромінення не встановлюються, а необхідність проведення певної рентгенологічної чи радіологічної процедури обґрунтовується лікарем. З метою зниження рівнів опромінення населення Міністерством охорони здоров'я України запроваджуються та затверджуються *рекомендовані рівні* медичного опромінення - величина дози, потужність дози чи радіоактивності.

При проведенні профілактичного обстеження населення річна ефективна доза не повинна перевищувати  $1 \text{ мЗв}$ .

**Радіаційно-гігієнічні регламенти третьої групи** (радіаційні аварії). Радіаційна аварія - це незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, при якому має місце втрата регулюючого контролю та реальне (або потенційне) опромінення людей.

Усі радіаційні аварії поділяють на дві групи:

1. Аварії, які супроводжуються радіоактивним забрудненням приміщень, території об'єкта та навколишнього середовища.

2. Аварії, які призводять до забруднення середовища виробничої діяльності та проживання людей.

За масштабом радіаційні аварії поділяють на:

1. *Промислові* - наслідки яких не поширюються за межі території даного об'єкта.

2. *Комунальні* - наслідки яких поширюються на оточуючі території, де проживає населення.

Серед комунальних аварій розрізняють: *локальні* - в зоні аварії проживає населення загальною чисельністю до 10 тис. чоловік; *регіональні* - займають території декількох населених пунктів, адміністративних районів або навіть областей, де чисельність населення, в зоні дії аварії не перевищує 10 тис. чоловік; *глобальні* - внаслідок яких дії піддається значна (чи вся) територія країни та її населення.

Крім того, у розвитку комунальних аварій розрізняють такі фази: *рання (гостра) фаза*; *середня, або фаза стабілізації*; *пізня фаза чи відновлення*.

*Персонал в умовах радіаційної аварії.* Обмеження опромінення основного персоналу встановлюється на рівні значень регламентів першої групи для категорії А за умови неперевищення величини сумарного опромінення 100 мЗв (подвоєне значення максимального ліміту ефективної дози за один рік). У виняткових випадках, коли роботи виконуються з метою збереження життя людей, не більше 500 мЗв.

*Населення в умовах радіаційної аварії.* Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії ґрунтується на



системі протирадіаційних заходів (контрзаходів), серед яких розрізняють: *прямі* - які дозволяють запобігти або знизити дозу опромінення; *непрямі* - які зменшують або компенсують величину збитку для здоров'я.

Залежно від масштабів та фаз аварії також умовно розрізняють *термінові, невідкладні* (укриття населення, евакуація, обмеження в режимі поведінки, фармакологічна профілактика тощо), та *довгострокові* (тимчасове відселення, переселення, дезактивація, обмежене вживання забруднених продуктів та води тощо) контрзаходи.

НРБУ-97 встановлює такий залишковий прийнятний сумарний рівень зовнішнього та внутрішнього опромінення:

- 1мЗв за рік для *хронічного опромінення* тривалістю більше 10 років;
- 5 мЗв сумарно за перші 2 роки;
- 15 мЗв сумарно за перші 10 років.

**Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи.** Регламенти цієї групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення людини від техногенно-підсилених джерел природного походження.

Встановлені такі допустимі величини ефективної питомої активності ( $A_{\text{еф}}$ ) природних радіонуклідів в будівельних матеріалах та сировині:

- коли величина  $A_{\text{еф}}$  становить 370 Бк кг<sup>-1</sup> будівельні матеріали та сировина може використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень;
- коли  $A_{\text{еф}}$  становить 370 - 740 Бк кг<sup>-1</sup> - для промислового будівництва та будівництва шляхів;
- коли  $A_{\text{еф}}$  становить 740 - 1350 Бк кг<sup>-1</sup> - для будівництва поза межами населених пунктів, а в населених пунктах лише для будівництва підземних споруд за умови покриття шаром ґрунту товщиною понад 0,5м та виключення тривалого перебування людей.

Для матеріалів, що мають естетичну цінність,  $A_{\text{еф}}$  не повинна перевищувати 3700 Бк кг<sup>-1</sup>.

*Потужність поглиненої в повітрі дози (ППД)  $\gamma$ -випромінювання у повітрі будинків та приміщень, що будуються та реконструюються з постійним перебуванням людей повинна, становити не більше  $4,4 \text{ нГр с}^{-1}$  ( $30 \text{ мкР год}^{-1}$ ), а тих, які експлуатуються, -  $7,3 \text{ нГр с}^{-1}$  ( $50 \text{ мкР год}^{-1}$ ), включаючи компоненту від природного радіаційного фону.*

*Середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) ізотопів радону-222 та радону-220 у повітрі будинків та приміщень, що будуються та реконструюються з постійним перебуванням людей, повинна становити не більше  $50 \text{ Бк м}^{-3}$  та  $3 \text{ Бк м}^{-3}$  відповідно. У повітрі приміщень, що експлуатуються -  $100$  та  $6 \text{ Бк м}^{-3}$  відповідно.*

### **Хід роботи**

1. Ознайомитися з основними положеннями НРБУ-97.
2. Навести характеристику категорій осіб, які можуть зазнати опромінення.
3. Ознайомитися та встановити особливості радіаційно-гігієнічних регламентів першої, другої, третьої та четвертої груп.
4. Навести приклади радіаційних аварій, та охарактеризувати фази розвитку.

### **Питання для самоконтролю**

1. З якою метою було введено в дію НРБУ-97?
2. Назвіть основні принципи радіаційної безпеки.
3. Охарактеризуйте радіаційно-гігієнічні регламенти першої, групи.
4. Встановіть особливості радіаційно-гігієнічних регламентів, другої групи.
5. Назвіть основні радіаційно-гігієнічні регламенти другої, , четвертої групи.
6. Охарактеризуйте радіаційно-гігієнічні регламенти третьої, групи.
7. Які категорії населення встановлено відповідно до НРБУ-97?

8. Який залишковий прийнятний сумарний рівень зовнішнього та внутрішнього опромінення встановлюють відповідно до НРБУ-97?

Практична робота № 4  
**ВИВЧЕННЯ МЕТОДИКИ ВІДБОРУ ТА ПІДГОТОВКИ  
ЗРАЗКІВ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО  
СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ  
РАДІОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

*Мета роботи:* ознайомитися з методами відбору та підготовки зразків для проведення радіометричних вимірювань.

*Основні поняття*

**Відбір проб зразків навколишнього природного середовища.** Завданням *радіометрії* є контроль за радіоактивним забрудненням об'єктів навколишнього середовища, які стосуються життєдіяльності людини: вода, повітря, ґрунт, продукція рослинництва та тваринництва. Всі операції, що стосуються відбору проб, їх зберігання, підготовки до вимірювання, проведення вимірювань та статистичної оцінки результатів вимірювань для одержання співставних результатів проводяться відповідно до єдиних методичних рекомендацій.

Сумарну  $\beta$ -активність визначають з метою здійснення контролю за забрудненням досліджуваних об'єктів. Перелік радіонуклідів, наявність яких перевіряють з допомогою радіохімічних та  $\gamma$ -спектрометричних методів досліджень, залежить від ймовірної наявності останніх в середовищі.

Проба, що відбирається, повинна бути типовою для об'єкта, а маса її достатньою для одержання золи при проведенні радіохімічного аналізу.

Середня проба формується із 8 - 10 "точкових" проб,

зважається, поміщається у відповідну тару, складається в ящик, опечатується та етикетується. При взятті проби складається акт, де зазначаються назва об'єкта, місце та дата відбору зразка (проби), ким відібрано та інші відомості. Одночасно проводиться вимірювання  $\gamma$ -фону на рівні 0.7 - 1.0 м над рівнем ґрунту з допомогою приладу СРП-68-01 і записом отриманих даних. Математична обробка одержаних даних передбачає визначення середньої арифметичної величини ( $M$ ), помилку середнього значення ( $m$ ), та інші статистичні величини.

**Відбір проб ґрунту.** Відбір проводять методом "конверту" в п'яти місцях зі стороною квадрату 100 м. Вибирається шар ґрунту 15x15 см і глибиною 5 см на віддалі не менше 200 м від дороги. Маса середньої проби - 1 кг.

**Відбір проб рослин.** Проводять на тих же ділянках що й ґрунту у восьми – десяти місцях, шляхом зрізання надземної маси (без ґрунту) ножем або ножницями по діагоналі або ломаній кривій. Із скирд - на висоті 1 - 1.5 м від ґрунту та з глибини не менше 0.5 м, із буртів - з глибини 0.3 - 0.5 м. Маса середньої проби - 2 кг.

**Відбір проб зерна.** Проби зерна відбираються із кузовів автомобілів щупом вручну або пробовідбірником по всій глибині в чотирьох - восьми місцях на віддалі 0.5 - 1.0 м від бортів. При завантаженні (вивантаженні) зерна із потоку зерна через рівні проміжки часу протягом всього часу перевантаження. З партії мішків - через одного, якщо партія до 10 мішків включно. З партії мішків від 10 до 100 - із 5 мішків, плюс 5% від кількості мішків в партії. З партії понад 10 мішків - із 10 мішків, плюс 2.5% від кількості мішків в партії. Із зашитих мішків - щупом в 3-х доступних точках. Об'єднану пробу формують із точкових проб, маса яких не менше 2 кг.

**Відбір проб корене-бульбоплодів.** Проводять з одного сорто типу кормів, які заготовлені з одного поля та зберігаються в однакових умовах, по діагоналі бокової

поверхні бурта, або середньої лінії кузова через рівні віддалі на глибині 20-30 см. Середню пробу, масою 1.0 - 1.5 кг, формують із об'єднаної, відбираючи по 20% від великих, середніх та дрібних корене- та бульбоплодів.

**Відбір проб трав та зеленої маси.** Трави з пасовищ або сіножатей відбирають (зрізують на висоті 3-5 см) перед випасанням або косінням у восьми – десяти місцях. Розмір облікової ділянки 1 - 2 м<sup>2</sup> по діагоналі. Із зеленої маси перед згодовуванням вручну в 10 місцях відбирають по 400 - 500 г. Середню пробу, масою 1.5 - 2.0 кг, формують по 150 - 200 г з 10 місць.

**Відбір проб грубих кормів.** Сіно та солому відбирають рівномірно по периметру скирд або стогів на висоті 1.0 - 1.5 м від поверхні ґрунту з глибини 0.5 м. Середню пробу, масою 1 кг, формують із 10 точок по всій товщині та площі об'єднаної проби.

**Відбір проб молока та молокопродуктів.** На фермах, молокозаводах молоко відбирають із ємкостей після перемішування пробовідбірником з різної глибини. Середня проба молока 0.2-10.0 літрів залежно від величини партії, інших молокопродуктів - сиру, масла 0.3 - 0.5 кг.

**Відбір проб м'яса та м'ясопродуктів.** Проби м'яса та м'ясопродуктів відбирають на забійних пунктах, м'ясокомбінатах та ринках від туш та напівтуш (без жиру) по 30 - 50 г в області 4-го та 5-го шийного хребця, лопатки, бедра та товстих частин спинних м'язів загальною масою 0.2 - 0.3 кг. Проби внутрішніх органів - печінка, нирки, селезінка, легені відбирають масою 0.1 - 0.2 кг, щитовидна залоза аналізується повністю.

**Відбір проб води.** Проводиться з перемішаної однорідної маси. Маса проби 100 - 200 г.

### **Підготовка проб до радіометрії**

Прийомку та попередню обробку проб проводять в спеціально обладнаних приміщеннях, перевірку

радіоактивності поверхні упаковки - індикаторним приладом СРП-68-01. Матеріал попередньо очищають від ґрунту і подрібнюють. Швидко оцінку відносної забрудненості проби радіонуклідами проводять експрес-методом без попередньої підготовки матеріалу.

Для детального аналізу матеріалу з малою активністю проби попередньо підготовлюють, використовуючи наступні методи:

- висушування попередньо зваженої проби спочатку в приміщенні (або під сонцем), а потім в сушильній шафі до постійної маси при  $t = 80 - 100^{\circ}\text{C}$ . Молоко підкислюють соляною або оцтовою кислотою, випарюють на плитках або під інфрачервоними променями з додаванням нових порцій молока до утворення сухого залишку, який доводять до постійної ваги в сушильній шафі при  $t=100^{\circ}\text{C}$ . М'ясо після видалення жиру, сухожилля та кісток прив'ялюють при кімнатній температурі, після чого висушують в сушильній шафі до постійної ваги. Водні проби упарюють до сухого залишку з наступним озоленням та радіометрією;

- обвуглювання сухого залишку досягають шляхом прожарювання на електричних плитках. Рослинні залишки спалюють в металевій банці до зникнення диму;

- озолування обвуглених залишків проводять в муфельних печах при поступовому підвищенні температури до  $400 - 450$  (для кісток  $500 - 600$ )  $^{\circ}\text{C}$  при помішуванні протягом 2-4 годин (для рослинних проб) та 5 - 15 годин для інших матеріалів. Ознака готовності - світло-сірий колір залишку.

Охолоджений залишок в ексикаторі до кімнатної температури зважують для визначення **коефіцієнта озолення (Коз.)**:

$$\text{Коз.} = m_2/m_1,$$

де  $m_2$  - маса сирієї золи, г;  $m_1$  - маса золи, г.

Одержаний попiл розтирають до порошкоподiбного стану, вiдважують 200-300 мг, розрiвнюють, ущiльнюють i проводять радiометрiю.

### **Хiд роботи**

1. Випишiть вихiднi данi (таблиця 4.1)

Таблиця 4.1

#### **Вихiднi данi**

№ варiанта	Вид проби	
	а	б
	Грунт (с.г. угiддя)	Молоко
	Зерно	М'ясо
	Коренеплоди (картопля)	М'ясопродукти
	Рослини	Вода (рiчка)
	Грубi корми	Трави
	Зеленi корми (жито)	Коренеплоди (буряк)
	Трави	Рослини
	Молоко	Зеленi корми (люцерна)
	М'ясо	Грунт (мiська екосистема)
	Вода (питна)	Зерно

2. Встановiть основнi вимоги до вiдбору проб для радiометричного аналізу.
3. Вiдберiть для аналізу запропонований вид проби.
4. Зробiть пiдготовку проби до радiометричного аналізу .
5. Зробiть висновки.

### **Питання для самоконтролю**

1. Якi особливостi вiдбору проб зразкiв навколишнього середовища для радiометричного аналізу?
2. Яким чином вiдбирають грунт для радiометричного аналізу?
3. Якою повинна бути маса проби коренеплодiв для радiометричного аналізу?
4. Встановiть особливостi пiдготовки проб для радiометричного аналізу.

Практична робота № 5  
**ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТОДІВ  
ВИМІРЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ**

*Мета роботи:* ознайомитися та вивчити основні методи вимірювання радіоактивності.

*Основні поняття*

Радіоактивність препаратів можна визначити абсолютним, розрахунковим і відносним методами. Для аналізу проб ветеринарного нагляду, які забруднені багатьма радіонуклідами, використовують спектрометричні методи вимірювання радіоактивності.

Кількість імпульсів за хвилину, яку одержують при радіометрії радіоактивних препаратів, ще не є істинною радіоактивністю, оскільки лічильною установкою реєструються не всі, а лише частина радіоактивних перетворень. Для визначення фактичної величини радіоактивності (розп./хв або в одиницях Кюрі) використовують абсолютний, розрахунковий та відносний методи.

**Абсолютний метод.** Суть даного методу полягає в прямому відліку кількості актів розпаду в умовах використання 4-π геометрії, при якій активність виражається в одиницях кюрі або бекерель. Конструкція 4-π лічильників дозволяє розмістити вимірюваний зразок безпосередньо всередині лічильника, і в такий спосіб реєструвати всі акти розпаду. Тому така конструкція лічильника дозволяє проводити розрахунки активності без внесення поправок. Метод не знайшов широкого застосування через високу вартість 4-π лічильників та складності приготування проб для радіометрії.

**Розрахунковий метод.** Імпульси, що надходять від лічильника, подаються на спеціальний перерахунковий прилад з наступною їхньою математичною обробкою. Число



імпульсів за одиницю часу зареєстрованих приладом, в даному випадку буде **меншим** фактичної їхньої кількості. Це відбувається тому, що не всі частинки потрапляють в робочий (чутливий) об'єм приладу, що викликає необхідність внесення поправки на геометрію.

Для визначення фактичної активності в кюрі, (А, Кі) виникає необхідність внесення в формулу розрахунків ряд поправочних коефіцієнтів, які враховують поглинання випромінювання повітрям, фактор розсіювання та інші.

$$A = \frac{N_{opr}}{W \times E \times K \times p \times q \times r \times \gamma \times m \times 2,22 \times 10^{12}}, \text{ Кі}$$

де  $N_{opr}$  - швидкість лічби від проби, імп./хв без фону; W - поправка на геометричні умови вимірювання (тілесний кут); E - поправка на розрахунковий час лічильної установки; K - поправка на поглинання випромінювання в повітрі та стінці лічильника; p - поправка на самопоглинання в товщі препарату; q - поправка на зворотнє розсіювання від підкладки; r - поправка на схему розпаду;  $\gamma$  - поправка на  $\gamma$ -випромінювання при змішаному  $\beta$ -, та  $\gamma$ -випромінюванні; m - наважка вимірювального препарату, мг;  $2,22 \cdot 10^{12}$  - перехідний коефіцієнт ( $1 \text{ Кі} = 2,22 \cdot 10^{12} \text{ розп./хв}$ ).

Для визначення питомої активності (Кі/кг) в чисельник вносять додатковий коефіцієнт  $10^6$ , для переходу від мг до кг.

Складність застосування розрахункового методу зумовлюється необхідністю проведення розрахунків для більшості названих коефіцієнтів.

*Поправку на геометрію рахунку (W)* вводять через те, що вимірюваний препарат розміщений на певній віддалі від лічильника й не всі частинки потрапляють у його чутливий (робочий) об'єм. Дана поправка буде меншою, коли площа препарату буде меншою за площею робочої поверхні лічильника, а віддаль між ними - мінімальною.

*Поправка  $E$*  – вносять лише в тому випадку, коли швидкість лічби від препарату перевищує розрахункову (номінальну) здатність лічильної установки. В іншому випадку  $E = 1$ .

*Поправка на поглинання  $\beta$ -частинок шаром повітря та вікном лічильника  $K$*  вноситься тільки для  $\beta$ -частинок, так як поглинання  $\gamma$ -випромінювання незначне.

*Поправка на самопоглинання випромінювання в препараті  $\rho$*  враховує у скільки разів щільність препарату ( $\text{мг/см}^2$ ) більша (менша) за шар половинного послаблення ( $\Delta 1/2$ ) даного радіоізоотопу. Шар препарату вважається тонким при щільності  $d < 0.1 \Delta 1/2$ , проміжним  $d > 0.1 \Delta 1/2$ ; та товстим при  $d > 4 - 5 \Delta 1/2$ . При вимірюваннях в тонкому та товстому шарах цю поправку невносять.

*Поправка на зворотнє розсіювання  $q$*  враховує в скільки разів швидкість лічби від препарату на підкладці вища порівнянно зі швидкістю лічби без підкладки. Поправка вноситься тому, що частина  $\beta$ -частинок, які виходять з препарату у бік підкладки, відбивається від неї, і певна їх кількість потрапляє в лічильник. Зворотнє розсіювання досить незначне для тонких підкладок з легких матеріалів (хлорвініл, відмита рентгенівська плівка), і навпаки, досягає 70-80% для тяжких елементів (свинець, платина та інших). При товщині активного шару від  $1.5 \Delta 1/2$  та вище поправка прирівнюється до 1.

*Поправка на схему розпаду  $r$*  для чистих  $\beta$ -випромінювачів (вихід  $\beta$ -частинок 100%) становить 1. При виході  $\beta$ -частинок, наприклад 89% (так, у  $K-40$  11% ядер розпадається по  $K$ -захвату)  $r = 0.89$ .

Поправку на  $\gamma$ -випромінювання враховують при вимірюванні активності змішаних випромінювачів ( $Co-60$  має стовідсоткове  $\beta$ -випромінювання, але  $\beta$ -розпад супроводжується  $\gamma$ -випромінюванням), яке і враховується.

**Відносний метод.** Даний метод ґрунтується на порівнянні

швидкості лічби від препарату з відомою активністю (еталон), з такою ж пробою, що вимірюється з невідомою активністю, одержаних в абсолютно однакових умовах вимірювання. Швидкість лічби (імп./хв) не тотожна активності (розп./хв), але пропорційна їй, стосовно еталона, так і вимірюваної проби. Ця пропорційність описується рівнянням:

$$\frac{A_{ет}}{N_{ет}} = \frac{A_{пр}}{N_{пр}}$$

де  $A_{ет}$  і  $A_{пр}$  - активність еталона і проби,  $N_{ет}$  і  $N_{пр}$  - швидкість лічби від еталона і проби.

Активність проби за рівнянням становить:

$$A_{пр} = \frac{A_{ет} \times N_{пр}}{N_{ет}}$$

Відносний метод досить точний, порівняно простий, виконується швидко, має достатню достовірність, і тому знаходить широке застосування в радіометрії радіоактивних ізотопів. Підвищення достовірності результатів визначення активності досягається вибором відповідного еталона та за однакових умов проведення радіометрії, для еталона і препарату.

Вимоги до еталона: вид випромінювання має бути таким же, як і в досліджуваній пробі; енергія випромінювання еталона і проби повинна бути однаковою або близькою; схема розпаду ізотопів в них не повинна істотно відрізнятись.

Краще, коли еталон містить той же препарат, який знаходиться в досліджуваній пробі, в іншому випадку використовують еталон, виготовлений з іншого ізотопу, але з врахуванням вищезгаданих вимог.

Зокрема в якості еталона використовують природний радіоізотоп К-40, виготовлений із хімічно чистої солі хлористого калію (КСІ, ГОСТ 4232-48).

### **Умови вимірювання**

Вимірювання проводять в строго однакових умовах, на

одному приладі, з одним детектором, на підкладках з однакового матеріалу однакової товщини і розміру, на однаковій віддалі від джерела.

Перехід від швидкості лічби в імп./хв до дійсної активності в розп./хв або Кі/кг виконується множенням швидкості лічби проби ( $N_{opr, \text{імп./хв}}$ ) на визначений з допомогою еталона коефіцієнт перерахунку ( $K$  зв'язку). Для розрахунку останнього дійсну активність еталона в розпадах (або кюрі) ділять на швидкість лічби еталону в імп./хв.

$$K = \frac{A_{cm}}{N_{oct}}$$

Після визначення  $K$  зв'язку для конкретних умов вимірювання, його використовують при визначенні активності проб з аналогічним ізотопу випромінюванням в тих же умовах вимірювання.

Активність вираховується шляхом множення швидкості лічби на коефіцієнт  $K_{зв'язку}$ :

$$A_{np} = N_{opr} \times K_{зв'язку}$$

### Хід роботи

1. Ознайомитися з основними методати вимірювання радіоактивності.
2. Виписати вихідні дані (табл. 5.1) відповідно до варіанта.

Таблиця 5.1

Вихідні дані

	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>W</b>	0,04	0,05	0,1	0,06	0,4	0,09	0,03	0,3	0,04	0,3
<b>K</b>	0,6	0,2	0,5	1,2	1,4	1,3	0,1	0,4	0,7	1,2
<b>r</b>	0,54	0,62	0,98	0,51	0,45	0,77	0,43	0,51	0,88	0,57
<b>γ</b>	1,08	1,25	1,41	1,19	1,02	1,05	1,08	1,18	1,27	1,19

3. Визначити фактичну активність проби в кюрі (А, Кі) розрахунковим методом для запропонованих умов вимірювання\* та при визначених значеннях поправочних коефіцієнтів.

*Умови вимірювання\**. Вимірювання проводяться в тонких та товстих шарах. Товщина активного шару на підкладці становить  $1,5-2\Delta l/2$ . Активність препарату не перевищує розрахункову (номінальну) здатність лічильної установки. При вимірюванні активності препарату КСІ, наважка масою 300мг, одержано активність 26,4 імп/хв. Визначити активність даного препарату в одиницях кюрі та бекерель, а також питому активність, Кі/кг, Бк/кг.

### **Питання для самоконтролю**

1. Якими методами можна визначити радіоактивність препаратів?
2. Розкрийте сутність абсолютного, розрахункового і відносного методу визначення радіоактивності препаратів.
3. Чим зумовлена складність застосування розрахункового методу?
4. Обґрунтуйте переваги абсолютного, розрахункового і відносного методу визначення радіоактивності препаратів.

### **Практична робота №6**

## **ПРОГНОЗ ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ПРОДУКЦІЇ**

*Мета роботи.* Ознайомитися та засвоїти методику прогнозування радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції.

### *Основні поняття*

Рослини є важливою ланкою більшості біологічних ланцюгів, за якими мігрують радіонукліди в природі, та початковою ланкою харчових ланцюгів, які визначають

надходження радіоактивних елементів в організм тварин та людей. Із багатьох радіоактивних елементів найбільшу біологічну небезпеку представляють довго живучі радіоізотопи цезію та стронцію, які мають період напіврозпаду біля 30 років і активно включаються в процеси біологічної міграції. Інші радіонукліди, що були викинуті із зруйнованого реактора, мають короткий період напіврозпаду (декілька діб, місяців) або практично не беруть участі в процесах мінералізованого обміну біологічних об'єктів. Період напіврозпаду радіоізотопів плутонія складає від 20 до 30 тисяч років, але вони практично не засвоюються в ґрунті і рослинах, і не є небезпечними для людини лише у випадку потрапляння в легені з пилом. Надходження цезію та стронцію в організм з продуктами харчування відбувається в результаті переходу Sr-90, Cs-137 з ґрунту в рослини, а потім в продукцію рослинництва і тваринництва.

Цезій-137 є аналогом калію, тому подібно до цього елемента бере участь в усіх в реакціях обміну в рослинах, організмах тварин та рослини, біологічно дуже рухомий і порівняно з іншими радіонуклідами швидко виводиться з організмів тварин та людини.

Стронцій-90 – хімічний аналог кальцію, для нього характерно високе засвоювання рослинами та тваринами, він повільно виводиться з організму та накопичується в кісткових тканинах.

Рівень забруднення сільськогосподарської продукції прямо пропорційний щільності забруднення ґрунтів. Щільність забруднення ґрунту вимірюється кількістю розпадів радіоактивних атомів, які проходять за одиницю часу на площі поверхні ґрунту.

При розробці структури посівних площ можна попередньо розрахувати очікуваний вміст Sr-90 і Cs-137 в майбутньому врожаї.

Існують прогнозні моделі за допомогою яких можна встановити рівень забруднення Cs-137 сільськогосподарських

культур. Номограми визначення вмісту Cs-137 в об'єктах див. рис. 11.1, 11.2, 11.3.

Розглянемо розрахунок прогнозу вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції з використанням коефіцієнта переходу ( $K_p$ ). В основі цього методу прогнозу закладено фактичні результати польових досліджень рівня забруднення ґрунту та рослин, котрі росли на ньому. Застосування цього методу прогнозу раціональне, так як коефіцієнт пропорційності можна попередньо визначити для різних сільськогосподарських культур. Коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини залежить від типу та кислотності ґрунтів, вмісту в них гумусу, обмінного кальцію та калію. Коефіцієнти переходу із всіх типів ґрунту в рослинну продукцію для Sr-90 вище, ніж для Cs-137. Sr-90 в 2-6 разів інтенсивніше поглинається бобовими культурами, ніж злаковими. Вміст Cs-137, як правило, також вище в зернобобових культурах порівняно зі злаковими.

Прогнозний вміст радіонуклідів у врожаї сільськогосподарських культур ( $C$ ) можна розрахувати за формулою:

$$C = K_p \times D, \text{ Бк/кг},$$

де  $K_p$  – коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в рослину;

$D$  – щільність забруднення ґрунту (Бк/м<sup>2</sup>).

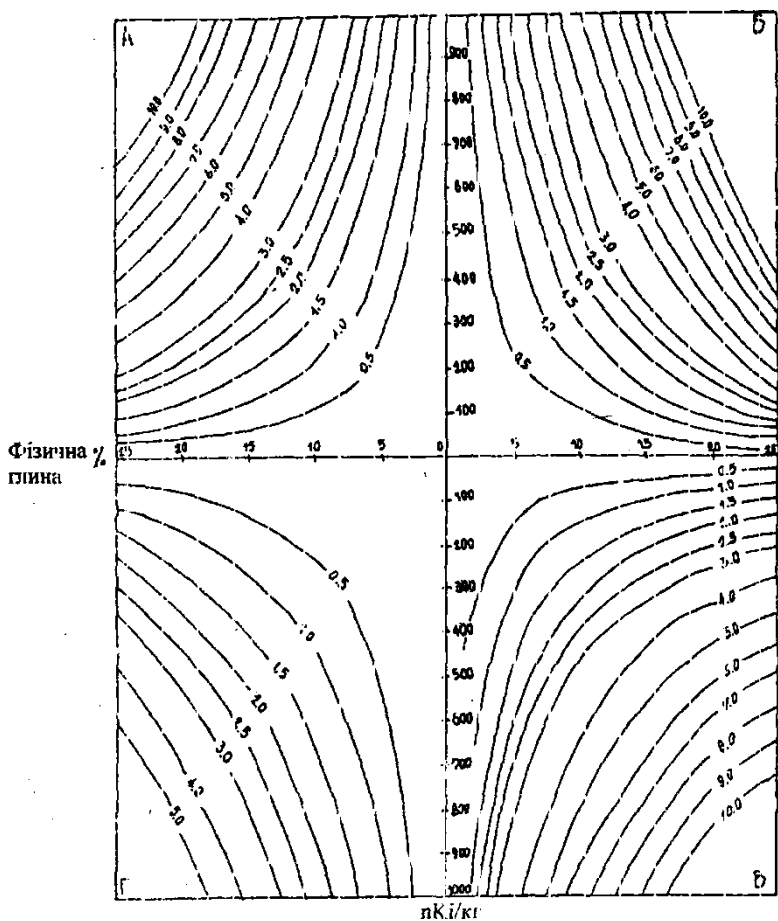


Рис. 11.1. Номограма визначення вмісту Cs-137(nKi/kg) у сільськогосподарських культурах в дерново-підзолистих ґрунтах різного гранулометричного складу (вміст фізичної глини, %) при різній щільності забруднення (пКи/км<sup>2</sup>) А - картопля; Б - жито; В - кукурудза на зелену масу; Г - льон.



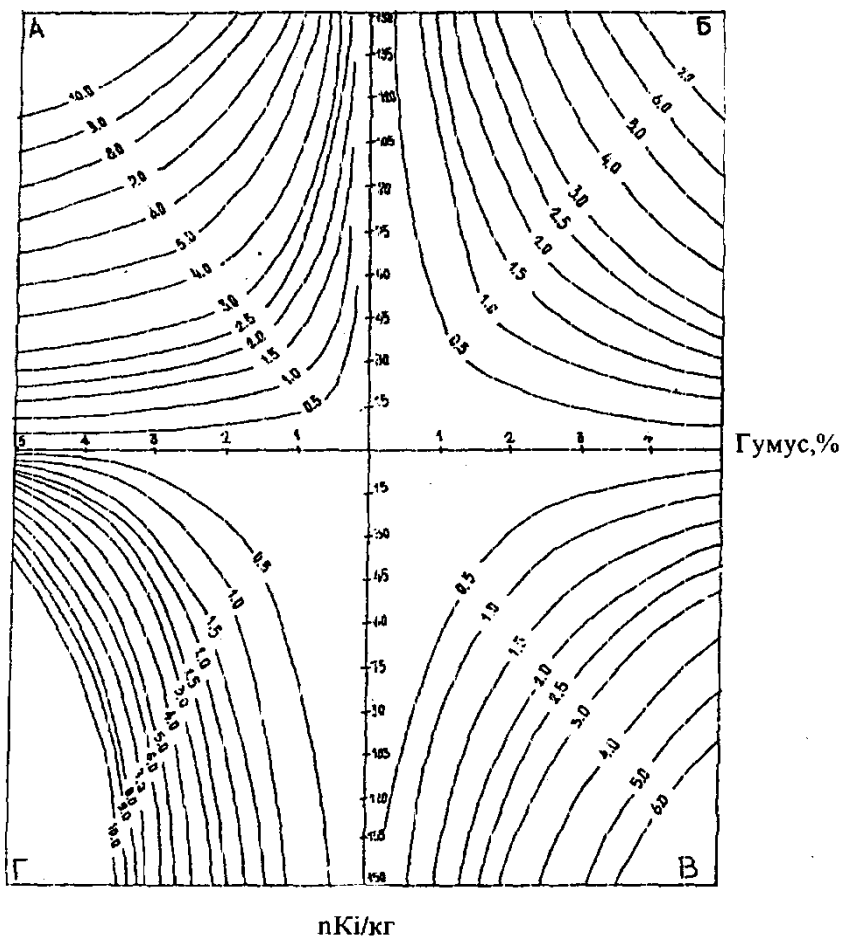


Рис.8.2. Номограма визначення вмісту  $\text{Cs-137}$  (nKi/kg) в сільськогосподарській продукції для легкосуглинкових ґрунтів залежно від вмісту гумусу при різних рівнях забруднення ( $\text{nKi/kg}^2$ ) А - жито; Б - картопля; В - кукурудза на зелену масу; Г - льон.

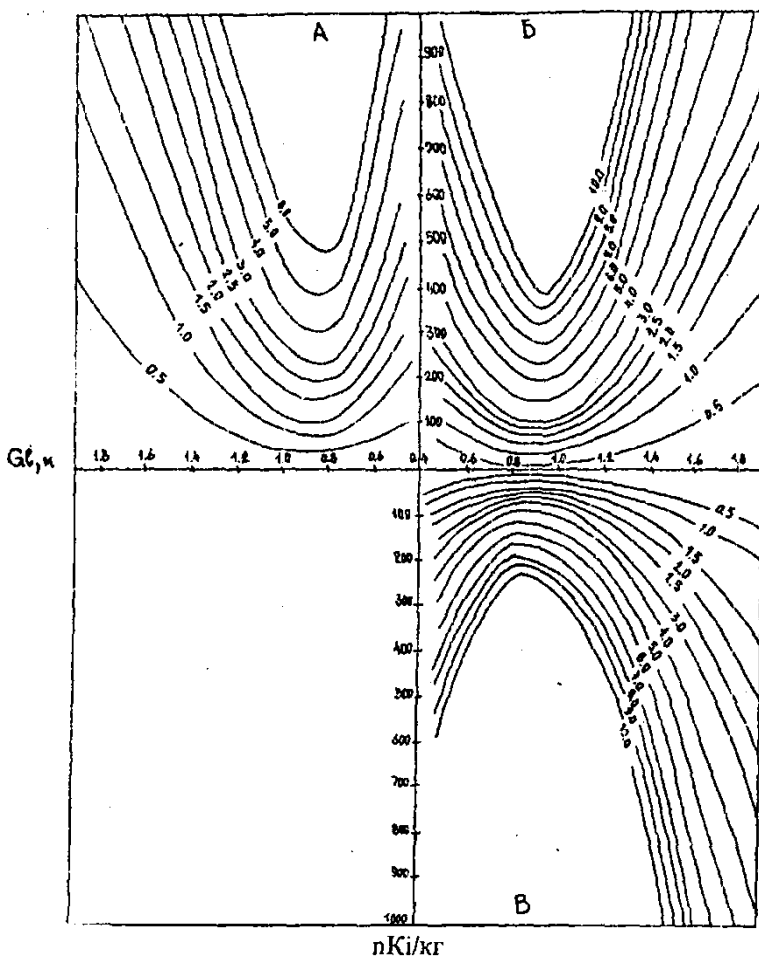


Рис.8.3. Номограма визначення вмісту  $\text{Cs-137}(\text{nKi/kg})$  в сільськогосподарській продукції залежно від ступеня оглеєності.  $G_l$ -глибина залягання глеєвого горизонту; А-льон; Б-картопля, жито; В-кукурудза на зелену масу.

Таким чином, рівні забруднення врожаю однієї і тієї ж культури залежить як від щільності забруднення ґрунту так і від агрохімічних властивостей ґрунтів. Чим вища окультуреність ґрунту, тим нижчий рівень накопичення

радіонуклідів у врожаї. У зв'язку з цим розміщення культур із врахуванням щільності забруднення ґрунту, а також біологічних особливостей рослин різних культур дозволяє регулювати рівні забруднення врожаю та вирощувати продукцію з вмістом радіонуклідів, значно нижчим тимчасово допустимих рівнів.

## Хід роботи

1. Виписати вихідні дані відповідно до варіанта (табл.11.1)

Таблиця 11.1

### Вихідні дані

Показ-ники		Остання цифра залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а	№ культури	1,	2 ,	3, 21	4,	5,9,	10,	11,	51,	52,	53,
		7,	8,	36,	13,	18,	17	14	55	54	56
12,		20,	43	37,	33	23,	24,	66,	57,	58,	
19		35	48, 6	22	44,	32	26	69	52	60	
34,		39,		40,	49	47,	31,	70,	67,	61,	
38		40		50		25	45	71	68	65	
Грунт дерново-підзолистий супіщаний											
б	№ культури	52,	68,	52,	68,	71,	61,	51,	62,	51,	57,
		56,	64,	56,	69,	70,	60,	52,	61,	52	58
60,		70,	60,	70,	69,	56,	66,	60,	54,	59,	
61,		71,	61,	71,	68,	52,	65,	59,	55	60,	
62,		56,	62,	56,	67,	68,	64,	58,	56,	63,	
67		52	67	60	62	67	63	57	53	64	
грунт											
Дерново підзолистий. піщаний				Торфово-глеєвий		Чорнозем суглинистий.		Чорно-зем		Сірий лісовий	
		Передостання цифра залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Щільність забруднення ґрунту, Кі/км²											
а		14,9	10,5	12,6	4,5	5,0	8,4	7,8	5,9	7,8	11
б		15	13	8	10	2,8	3,7	6,8	7,1	11,5	12

2. Охарактеризувати тип ґрунту та навести основні агрохімічні характеристики (рН, величину гідролітичної кислотності, вміст азоту, фосфору, калію та кальцію, гумусу).

3. Визначити коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту в культури (табл. 8.2, 8.3.) та оцінити біологічні особливості кожної культури щодо накопичення радіонуклідів.

4. Користуючись формулою, розрахувати прогнозований рівень забруднення врожаю сільськогосподарських культур відповідно до заданих умов.

5. Одержані прогнозні рівні вмісту радіонуклідів у врожаї сільськогосподарських культур порівняти з тимчасовими допустимими рівнями вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції (табл. 11.4) та визначити відсоток перевищення, коли такий існує.

6. Результати розрахунків представити у табличній формі (табл.11.5.).

7. Беручи до уваги зроблені розрахунки забруднення культур, підібрати культури, які можна вирощувати при даному рівні забруднення ґрунту. Обґрунтувати вилучення деяких культур з сівозміни, яка культивується на даній території.

8. Зробити висновок.

### **Питання для самоперевірки**

1. Наведіть приклади найбільш небезпечних, з точки зору сільськогосподарського виробництва, радіонуклідів. Відповідь обґрунтуйте.

2. Які хімічні аналоги є у радіонуклідів стронцій та цезій?

3. Від чого залежить рівень забруднення сільськогосподарської продукції?

4. Що характеризує коефіцієнт переходу радіонуклідів з ґрунту до рослини та від яких факторів він залежить?

5. Які методи прогнозу забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції ви знаєте?

6. Які фактори впливають на рівень забруднення сільськогосподарської продукції рослинництва радіонуклідами за умов вирощування при однакових щільностях забруднення ґрунту радіонуклідами?

Таблиця 11.2

Коефіцієнти переходу ( $K_n$ ) цезію-137 в рослини з дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Номер культури	$K_n, \frac{Бк / кг}{кБк / м^2}$	
	Основна продукція	Побічна продукція
1	2	3
<b>Зернові та зернобобові</b>		
1. Кукурудза	0,07	0,27
2. Озима пшениця	0,11	0,43
3. Ячмінь	0,13	0,19
4. Тритикало	0,16	0,25
5. Яра пшениця	0,16	0,33
6. Просо	0,24	0,81
7. Жито	0,24	0,28
8. Овес	0,35	0,81
9. Боби	0,52	1,26
10. Гречка	0,76	0,8
11. Соя	0,88	1,2
12. Горох	0,91	1,45
13. Вика	0,29	1,48
14. Люпин жовтий	4,5	0,27
<b>Овочеві</b>		
15. Баклажани	0,013	-
16. Цибуля ріпчаста (зел.)	0,017	-
17. Цибуля батун (перо)	0,03	-
18. Перець солодкий	0,05	-
19. Кабачки Цукіні	0,06	-
20. Кабачки Грибовські	0,06	-
21. Гарбуз	0,06	-
22. Патисони	0,09	-
23. Часник	0,09	-
24. Помідори	0,04-0,12	-

продовження табл.11.2		
1	2	3
25. Морква	0,13-0,15	-
26. Редиска	0,15	-
27. Петрушка	0,10	-
28. Коріандр	0,17	-
29. Календула	0,17	-
30. Капуста червонокачана	0,19	-
31. Капуста білокачана		-
32. Капуста брюсельська	0,22	-
33. Капуста кольрабі	0,35	
34. Цвітна капуста	0,32	
35. Столовий буряк	0,17	-
36. Щавель	0,29	-
37. Картопля	0,39	-
<b>Кормові</b>		
38. Кукурудза	0,15	-
39. Тимофіївка	0,23	-
40. Редька олійна	0,3	-
41. Кормова капуста	0,43	-
42. Рапс озимий	0,46	-
43. Конюшина червона	0,54	-
44. Соняшник	0,6	-
45. Люпин жовтий	1,5	-
<b>Технічні</b>		
46. Льон зерно	0,13	-
47. Льон соломка	0,19	-
48. Соняшник	0,42	-
49. Редька олійна	0,48	-
50. Цукровий буряк	034	-

Таблиця 11.3

Коефіцієнти переходу Cs-137 з ґрунту в культури,  $(K_{\text{п}}, \frac{B_{\text{к}} / \text{кг}}{\text{кБк} / \text{м}^2})$

Номер культури	Ґрунт					
	*1	*2	*3	*4.	*5.	*6
51. Люцерна	0,9	-	-	-	0,1	0,2
52. Конюшина	0,8-2,9	0,9	8,0	0,2	0,1	0,3
53. Вика	1,1-4,5	-	-	-	0,2	0,4
54. Люпин	0,9-2,7	-	-	-	0,1	0,3
55. Горох	0,5	-	-	-	0,2	0,3
56. Кукурудза (силос)	0,6	0,2	1,6	0,05	0,1	0,3
<b>Зерно</b>						
57. Озима пшениця	0,4				0,05	0,2
58. Озиме жито	0,3				0,07	0,1
59. Озимий ячмінь	0,3				0,01	0,1
<b>Овочі</b>						
60. Картопля	0,3		0,8		0,04	0,1
61. Буряк	0,2	0,2	2,7	0,05	0,06	0,3
62. Капуста	0,1	0,4	20	0,08	0,04	0,1
63. Помідори	0,6	1,3	-	0,2	0,03	0,09
64. Огірки	0,3	-	-	-	0,03	0,06
65. Цибуля	0,3	-	-	-	0,11	0,2
66. Морква	0,2	-	-	-	0,05	0,12
<b>Зелена маса</b>						
67. Рапс	-	0,8	8,0	0,1	-	-
68. Злакові	-	0,4	4,0	0,05	-	-
69. Бобові	-	0,8	8,0	0,2	-	-
70. Овес	-	0,2	4,0	0,05	-	-
71. Ячмінь	-	0,2	0,8	0,05	-	-

\*1- дерново-підзолисті супіщані; \*2 - дерново-підзолисті піщані;  
 \*3- осушені торфово-глеєві; \*4 -важко суглинистий чорнозем ; \*5 - чорнозем; \*6 -лісі лісові

Таблиця 11.4

Тимчасово допустимі рівні вмісту цезію-137 та стронцію-90 в сільськогосподарській продукції, зумовлені аварією на ЧАЕС (ТДР-2006)

№ з/п	Продукція	Цезій-137, Бк/кг	Стронцій-90, Бк/кг
1	Вода	20	5
2	Сіно та солома	600	200
3	Зерно фуражне	600	200
4	Зерно харчове	60	20
5	Столова зелень	40	20
6	Зелена маса	60	20
7	Садові ягоди, фрукти	70	10
8	Бурак кормовий	40	20
9	Картопля	60	20
10	Овочі	40	20
11	Зерно зернобобових	40	20
12	Круп'яні	40	20
13	Свіжі дикоростучі ягоди і гриби	500	50
14	Сушені дикоростучі ягоди і гриби	2500	250
15	Інші продукти	600	200
16	М'ясо і м'ясні продукти	200	20
17	Молоко і молочні продукти	100	20
18	Риба і рибні продукти	150	35
19	Яйця	6	2
20	Молоко згущене і концентроване	300	60
21	Молоко сухе	500	100



Таблиця 11.5

Прогнозний вміст радіонуклідів в сільськогосподарській  
продукції

Культура	Щільність забруднення ґрунту, Д, Бк/кв. м	Коефіцієнт переходу, Кп, Бк/кг	Вміст радіонуклідів у врожаї, С, Бк/кг	ТДР, БК/кг	Відсоток перевищення ТДР, %
1	Д	Кп1	С1	ТДР1	%
2	Д	Кп2	С2	ТДР2	%
3	Д	Кп3	С3	ТДР3	%
...	...	...	...	...	...
n	Д	Кп <sup>n</sup>	С <sup>n</sup>	ТДР <sup>n</sup>	%

Практична робота №7

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА  
ЗМЕНШЕННЯ НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У  
ПРОДУКЦІЮ РОСЛИННИЦТВА**

*Мета роботи:* ознайомитися з основними заходами, які спрямовані на зменшення забруднення Cs-137 сільськогосподарської продукції, та навчитися застосовувати ці заходи для певних умов.

*Основні поняття*

Сільськогосподарське виробництво на території, яка зазнала радіоактивного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС, спрямоване на вирішення одного із основних завдань – застосування у виробництві заходів, що сприяють зниженню до встановлених норм вмісту радіонуклідів у продукції.

Комплекс заходів, які спрямовані на одержання “умовно чистої продукції” рослинництва складається з чотирьох груп: організаційні, агротехнічні, агрохімічні, технологічні.

**ОРГАНІЗАЦІЙНІ** заходи передбачають:

- проведення інвентаризації угідь за щільністю забруднення та складання відповідних картограм;

- прогнозування вмісту радіонуклідів у врожаї;
- прогнозування ефективності заходів і рівня забруднення врожаю після їх проведення;
- визначення площ, де можливе вирощування культур для різнопланового використання:
  - а) на виробничі цілі;
  - б) на виробництво кормів;
  - в) на технічну переробку;
  - г) на одержання посівного матеріалу;
- організація радіаційного контролю продукції.

АГРОТЕХНІЧНІ заходи включають:

- проведення глибокої оранки (на високо-родючих ґрунтах);
- збільшення частки площ під культурами з низьким рівнем нагромадження радіонуклідів;
- запобігання вторинного забруднення рослин;
- кореневе та поверхнєве поліпшення сінокосів та пасовищ.

АГРОХІМІЧНІ заходи передбачають:

- вапнування кислих ґрунтів;
- внесення підвищених доз калійних добрив;
- внесення підвищених доз фосфорно-калійних добрив;
- внесення органічних добрив;
- комплексне внесення різних видів мінеральних та органічних добрив.

ТЕХНОЛОГІЧНІ заходи включають:

- промивку і первинну очистку зібраної плодово-овочевої та технічної продукції;
- застосування різних способів збирання зернових, овочевих і кормових культур, які не допускають вторинного забруднення продукції;
- переробку одержаної продукції з метою зниження концентрації радіонуклідів.

Товарне сільськогосподарське виробництво на території зі щільністю забруднення цезієм-137 вище 15 Кі/ км<sup>2</sup>

забороняється на всіх типах ґрунтів, на торфових та торфово-болотних ґрунтах цей показник може бути обмежений до 5 Кі/км<sup>2</sup>.

Ґрунт є основним джерелом надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію. Ґрунт здійснює значний вплив на міграцію радіонуклідів. З одного боку, відбувається сорбція радіонуклідів твердою фазою ґрунту, з іншого – ідуть процеси перерозподілу в глибші шари. Швидкість цих процесів залежить від таких властивостей ґрунту, як механічний та мінеральний склад, вміст органічної речовини, ємність вбирання.

Деякі ґрунти Українського Полісся (дерново-підзолисті піщані, слабо гумусні піски) характеризуються дуже низьким вмістом глинистих мінералів, що викликає слабе протікання процесів необмінного поглинання Cs-137. Тому Cs-137 в цих та органогенних (торфово-болотних) ґрунтах, характеризуються різко підвищеним значенням міграційної здатності та біологічної допустимості. Зниженню накопичення радіонуклідів в рослинах сприяє підвищений вміст гумусу в ґрунтах. Вплив гумусу на поведінку радіонуклідів пояснюється не тільки підвищеною ємністю вбирання, а також зниженням активності та гідролітичної кислотності ґрунту, утворенням комплексних з'єднань, в складі яких радіонукліди не можуть бути засвоєні корневими системами.

Вапнування є одним із найбільш розповсюджених заходів для одержання рослинної продукції, яка відповідає радіологічним стандартам.

### 1. Вапнування

*Кислотність ґрунтів* – це здатність ґрунту підкислювати ґрунтовий розчин, або розчин солей, внаслідок наявності в складі ґрунту кислот, а також обмінних іонів водню і катіонів, які утворюють при їх витісненні гідролітично кислі солі. Розрізняють активну кислотність, яка визначається значенням рН ґрунтового розчину та потенціальну кислотність, носієм

якої є іони  $K^+$  і  $Al^{3+}$ , що знаходяться в твердій фазі ґрунту в обмінно-поглинутому стані і які підкислюють ґрунтовий розчин в результаті обмінних реакцій при збільшенні в ньому концентрації електролітів (наприклад, при внесенні добрив). За способом визначення, потенціальну кислотність поділяють на обмінну і гідролітичну. Обмінна кислотність виявляється при взаємодії ґрунту з розчинами нейтральних солей, а гідролітична – з розчинами гідролітично-розчеплюючих солей. Обмінна кислотність характеризується величиною рН сольової витяжки (інтервал від 3-до 6).

За значенням рН ґрунтового розчину, ґрунти розрізняють: сильнокислі (рН 3 – 4), кислі (рН 4 – 5), слабокислі ( рН 5 – 6), нейтральні ( рН 6 – 7), лужні ( рН 7 – 8), сильнолужні (рН 8 – 9).

В кислих ґрунтах рухомість радіонуклідів максимальна. Із підвищенням рН сорбція радіоізоотопів зростає, а рухомість знижується. Зміна реакції розчину з сильно кислотою до нейтральної знижує рухомість радіоактивних цезію, стронцію у 2-4 рази. Для умов Полісся коефіцієнти переходу основних забруднювачів цезію-137 та стронцію-90 із підвищення рН знижуються в 3-15 разів.

Внесення вапна ефективно у дозах, які забезпечують нейтралізацію кислотою реакції ґрунтового розчину. Дози вапна розраховують за гідролітичною кислотністю ґрунту. У зоні зі щільністю забруднення за гідролітичною кислотністю ґрунту, у зоні зі щільністю забруднення ґрунту до  $15 \text{ Кі/км}^2$  вапно в одній дозі за гідролітичною кислотністю. Надлишкове внесення вапна додатково не зменшує надходження радіонуклідів і може впливати на продуктивність таких культур, як льон, картопля, люпин, серадела. В перші роки після внесення вапна на полях необхідно розміщувати: кормові боби, конюшину, горох, кукурудзу, озиму пшеницю.

На дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтах при вмісті гумусу до 3%, потребу у вапні можна визначити за рН сольової витяжки з ґрунту та механічним складом (табл.12.1).

В умовах Полісся ефективно замість вапна вико-  
ристовувати доломітову муку, вапнякові туфи, дефекти.  
Строки повторного вапнування ґрунтів встановлюється в міру  
підкислення ґрунтового розчину.

Таблиця 12.1

Нормальні дози вапна в перерахунку на чистий та сухий  
вуглекислий кальцій (в т на 1 га)

Механічний склад ґрунту	рН сольової витяжки з ґрунту					
	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4-6,0
Супіщані, легкосуглинисті	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0
Середньо та важкосуглинисті	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5

**2. Застосування мінеральних та органічних добрив.** Вплив  
мінеральних добрив на накопичення радіонуклідів у культур  
різна за одних і тих самих ґрунтових умов.

Азотні добрива в деяких випадках можуть спричинити  
нагромадження радіонуклідів у врожаї. Тому азотні добрива  
слід застосовувати тільки в складі складного добрива в  
кількості, яка забезпечує одержання запланованого врожаю.  
При застосуванні складного мінерального добрива  
рекомендується відношення N:P:R=1:1,5:2. ефективність  
добрив максимально проявляється на низькородючих ґрунтах.

Застосування органічних добрив сприяє як підвищенню  
врожаю, знижує накопичення в ньому радіоактивних речовин.  
Органічні добрива застосовують в дозах 60-100 т/га залежно  
від потреби культури.

Під кормові культури рекомендується такі дози добрив:  
калій 90-120 кг д.р/га; фосфор 60-90 кг д.р/га; азот 45-60 кг  
д.р/га; органічні (гній, сапропель) не менше 50 т/га.

На торфових та піщаних мінеральних ґрунтах вапнування  
та внесення підвищених норм фосфорно-калійних добрив не  
завжди забезпечують отримання “умовно чистої” продукції.  
Тому комплекс заходів доцільно доповнювати прийомами зі  
збагачення їх сорбентами органо-мінерального складу.  
Ефективними матеріалами для меліорантів є місцеві

матеріали: мергель, лесовидні та моренні суглинки, алювіальні відклади суглинкового та глинистого складу, розмелені туфи.

**1. Розміщення культур.** Рівні забруднення врожаю сільсько-господарських культур залежать від біологічних особливостей рослин. Так, зернові та зернобобові культури в міру збільшення нагромадження радіоцезію у врожаї зерна на одному і тому ж ґрунті можна розмістити в ряд: кукурудза, просо, ячмінь, пшениця, жито, овес, горох, квасоля, боби, соя, гречка. Відмінність між накопиченням радіоцезію в зерні кукурудзи та гречки складає 18 разів.

Кормові культури в міру збільшення рівнів забруднення зеленої маси розміщуються в такому порядку: кукурудза, тимофіївка, конюшина, соняшник, кормова капуста, люпин жовтий.

Характеристика овочевих культур щодо накопичення радіоцезію показана в таблиці 12.2.

Таким чином, розміщення культур з урахуванням щільності забруднення ґрунту, а також біологічних особливостей рослин дозволяє регулювати рівні забруднення врожаю та вирощувати продукцію з вмістом радіонуклідів значно нижче ТДР.

Таблиця 12.2

Коефіцієнти переходу цезію-137 в овочеві культури

$$(K_n, \frac{B_k / \text{кг}}{k B_k / \text{м}^2})$$

Група	Культури	Діапазон, $K_n$
<b>I</b>	Малонакопичуючі культури: баклажани, солодкий перець, гарбуз, цибуля	<0,1
<b>II</b>	Середньонакопичуючі культури: огірки, помідори, часник, кабачки, морква, петрушка, цвітна капуста	0,1-0,2
<b>III</b>	Культури підвищеного накопичення: редиска, кріп, рання та пізня капуста	0,2-0,3
<b>IV</b>	Культури високого накопичення: щавель, капуста кольрабі, столовий буряк	>0,3

## **Оцінка ґрунтів за ступенем радіоактивного забруднення**

Залежно від рівня додаткових затрат та їхньої складності виконання існує шкала оцінки рівня деградованості ґрунту за рівнем забруднення його радіонуклідами (за М. О. Клименком, С. І. Веремеєнком), яка представлена в таблиці 12.3.

### **Хід роботи**

1. На підставі вихідних даних лабораторної роботи “Прогноз вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції” оцінити радіоактивну обстановку території, охарактеризувати тип ґрунту.

2. Оцінити кислотність ґрунту та розрахувати необхідну кількість внесення вапна за показниками гідролітичної кислотності або за рН сольової витяжки з ґрунту та механічним складом, обґрунтувати спосіб розрахунку.

Таблиця 12.3

Шкала деградованості ґрунту за рівнем їхнього радіоактивного забруднення цезієм-137  
( М.О.Клименко, С.І.Веремеєнко)

Ступінь деградованості	Щільність забруднення ґрунту, Кі/км <sup>2</sup>			Вміст радіонуклідів в с/г продукції	Рекомендовані заходи з відновлення екологічного стану
	Дерн.-підзол.		Торфові		
	легкі	важкі			
1	2	3	4	5	6
Недеградовані	На рівні природного фону				
Слабо-деградовані	до 1	до 1	до 0,5	Вміст радіо-нуклідів не перевищує ТДРв кормах і молоці	Традиційна система землеробства з обов'язковим застосуванням агротехнічних заходів підвищення легких піщаних та торфових ґрунтів
Середньо-деградовані	1-3	1-6	0,5-2	Можливе перевищення вмісту радіонуклідів у кормах вище ТДР. Забруднення молока не перевищує ТДР.	Підбір культур з нижчим рівнем накопичення радіонуклідів, корінне поліпшення сінокосів та пасовищ, вапнування кислих ґрунтів, внесення рекомендованих норм мінеральних добрив, оптимізація водно-повітряного режиму



Продовження табл..12.3					
1	2	3	4	5	6
Сильнодеградовані	3-15	6-15	2-4	Вміст радіонуклідів в кормах та молоці вище ТДР-97. Отримання чистої продукції можливе при застосуванні спеціальних агротехнічних заходів та переробці продуктів тваринництва	Зміна структури посівних площ або спеціалізації господарств, внесення підвищених норм фосфорно-калійних добрив, органічних добрив. Проведення структурних та колоїдно-хімічних меліорацій піщаних та торфових ґрунтів. Вапнування кислих ґрунтів. Корінне поліпшення сінокосів та пасовищ.
Непридатні	>15	>15	>4	Отримати екологічно чисту продукцію без дезактивації ґрунтів неможливо	Вилучення із сільськогосподарського виробництва на тривалий час або дезактивація та рекультивація ґрунтів

Розрахунок норми вапна за гідролітичною кислотністю:

$$H_p = 1.5 \text{ Гк, т/га;}$$

де:  $H_p$  – норма вапна, т/га;  $G_k$  – величина гідролітичної кислотності, м-екв/100г ґрунту; 1.5 – коефіцієнт перерахунку гідролітичної кислотності на  $\text{CaCO}_3$ , т/га

3. Запропонувати оптимальні дози добрив для конкретної культури з урахуванням типу ґрунту та рівнів радіоактивного забруднення.

4. Охарактеризувати розміщення культур, враховуючи їхні біологічні особливості.

5. Оцінити ґрунт за ступенем радіоактивного забруднення.

6. Результати розрахунків записати в таблицю 12.4.

Таблиця 12.4

Характеристика заходів, спрямованих на зменшення забруднення продукції рослинництва

Культури (коефіцієнт переходу)	Характеристика заходів					Ступінь деградованості грунту
	Внесено вапна, т/га	Внесено добрив			Розміщення культур	
		N кг д.р	P кг д.р	K кг.д.р		

7. Спрогнозувати зміни рівня забруднення після проведених заходів.

8. Зробити висновки.

### Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні групи заходів, які спрямовані на зменшення надходження радіонуклідів до рослинної продукції.

2. В чому полягають організаційні заходи, спрямовані на зменшення надходження радіонуклідів до рослинної продукції.

3. Охарактеризуйте групи заходів, які спрямовані на зменшення надходження радіонуклідів до рослинної продукції, які є актуальними сьогодні.

4. Яким чином визначають дозу внесення вапна на забруднених радіонуклідами територіях.

5. Які обмеження існують при веденні товарного сільськогосподарського виробництва.

6. Які норми мінеральних та органічних добрив рекомендовано вносити на радіоактивно забруднених територіях.

7. Наведіть основні вимоги, до розміщення культур після вапнування.

#### Практична робота №8

### **ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВЕДЕННЯ ТВАРИННИЦТВА НА РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ**

*Мета роботи:* ознайомитися з основними принципами ведення тваринництва на забруднених землях і навчитися прогнозувати вміст цезію-137 у продуктах тваринництва.

#### *Основні поняття*

Основну дозу радіоактивного опромінення людина одержує не ззовні, а за рахунок споживання забруднених продуктів. Зменшити надходження радіонуклідів в організм людини можна лише за умов прогнозування ймовірних рівнів забруднення продуктів тваринництва.

Радіоактивні речовини надходять в організм тварин трьома шляхами: перорально (через рот), аерально (через дихальні шляхи), перкутативно (через шкіряний покрив). Аеральний та перкутативний шляхи представляють інтерес при оцінці дозових навантажень на організм тварин, а пероральний, зокрема, характеризує забруднення основних продуктів тваринництва (молока, м'яса, яєць).

Загалом в господарствах, які розміщені на забруднених радіонуклідами територіях, ступінь забруднення продукції тваринництва буде залежати від складу раціону та способу утримання тварин.

Найбільш високі рівні забруднення тваринництва будуть спостерігатися при екстенсивному типі відгодівлі тварин (кормовою базою є природні луки та пасовища). Зменшення рівнів забруднення окремих кормів та загалом раціону тварин в цілому, може бути досягнути при використанні інтенсивної системи землеробства, стійлового утримання тварин з організацією раціональної кормової бази.

При складанні раціону, необхідно брати до уваги те, що важливе значення для пониження переходу радіонуклідів цезію та стронцію в продукцію тваринництва має збалансоване мінеральне харчування. Наприклад, дефіцит кальцію в раціоні тварин, викликає підвищене накопичення стронцію-90 в молоці. Тому, при складанні раціону для продуктивних тварин та птахів, рекомендується повноцінний та збагачений кальцієм раціон. При забрудненні території радіоактивним цезієм раціон тварин повинен бути збалансований за калієм.

Радіонуклід, який потрапив в організм з кормом, всмоктується в кров у відповідних відділах шлунково-кишкового тракту. За певний період часу (в хвиликах), він розподіляється в судинній системі і виводиться з крові з сечею, потом, калом, молоком та в результаті радіоактивного розпаду. Частина радіонуклідів відкладається в тканинах, потім потрапляє в кров і входить в процеси виведення.

Виведення радіонуклідів з молоком залежить від періоду лактації та продуктивних якостей тварин: чим вищий добовий удій корови, тим менша концентрація радіонуклідів в молоці. Концентрація цезію-137 у молоці визначається кількістю радіонуклідів в добовому раціоні. Перехід Cs-137 з раціону дійної корови у молоко, в середньому складає 1% від вмісту радіонуклідів в добовому раціоні. Основним шляхом

зменшення вмісту Cs-137 у молоці є переведення корів на максимально “чисті” корми.

Значний вплив на забруднення продукції має стан пасовищ. Практика показує, що використання природних пасовищ з забрудненням Cs-137 до 5 Кі/км<sup>2</sup>, а інколи і до 10 Кі/км<sup>2</sup> з додатковою підгодівлею тварин “чистими” кормами, дозволяє одержувати молоко з вмістом радіонуклідів в межах норми.

В організмі тварин радіоактивний цезій концентрується в м’язах, а стронцій-90 – в кістках. Порівняно з молоком, концентрація Cs-137 в м’язах приблизно в 4 рази є вищою, а Sr-90 – в 1.5 рази нижчою.

Для характеристики швидкості виведення радіоцезію з м’язів, використовують “час напіввиділення”, тобто проміжок часу, за який вміст радіонуклідів зменшується в два рази. Період напіввиділення для жуйних тварин, залежно від віку та продуктивності, рівний 20 – 30 днів. Основний метод зниження радіоцезію в м’ясі, полягає у відгодівлі тварин на завершальному етапі максимально “чистим” кормом (див. методичні вказівки 065-38, табл. 13.1). Швидкість зниження Cs-137 в м’язах тварин, при утриманні їх на “чистих” кормах, із збільшенням віку зменшується .

Таблиця 13.1

Вміст Cs-137 в м’язах і в раціоні ВРХ на різних стадіях відгодівлі

Стадії відгодівлі	Вміст Cs-137		
	В м’язах, Бк/кг		В добовому раціоні, Бк/кг
	На початку стадії	В кінці стадії	
Початкова	без обмежень	2980	74000
Проміжна	2960	1480	37000
Кінцева	1480	740	18500

В таблиці 13.3 наведено допустимі рівні вмісту цезію-137 в раціоні, який забезпечує одержання продукції тваринництва в межах ТДР.

Для пониження концентрації радіонуклідів в продуктах харчування, необхідно застосовувати технологічну та кулінарну обробку. Перехід Cs-137 та Sr-90 з забрудненого молока в молочні продукти показана в табл. 13.4. Відомо ряд способів зниження концентрації радіонуклідів в м'ясі та м'ясопродуктах (табл.13.5).

Таблиця 13.2

Тривалість стадії відгодівлі залежно від віку ВРХ

Стадії відгодівлі	Вік тварин на момент убою		
	1,5 року	2,5 роки	2,5-9 років
	Тривалість стадії відгодівлі, доби		
Початкова	Без обмежень	Без обмежень	
Проміжна	15	15	30
Завершальна	50	60	120

Таблиця 13.3

Прогноз вмісту цезію-137 в продуктах тваринництва

Продукт	Допустимий вміст цезію-137		% переходу з добового раціону в 1 кг продукції
	в продукті, Бк/кг	в раціоні тварин, Бк	
Молоко	100	10000	1
М'ясо яловичини	200	5000	4
М'ясо свинини	200	1400	15
М'ясо бараняче	200	1400	15
М'ясо куряче	200	45	50

Таблиця 13.4

Перехід цезію-137 та стронцію-90 із забрудненого молока в молочні продукти, у % від вмісту в цільному молоці

Найменування продукції	Цезій-137	Стронцій-90
Молоко цільне	100	100
Молоко знежирене	85	92
Вершки	15	8
Масло	2,5	1,5
Маслянка	13,5	6,5
Топлене масло	<0,1	<1
Знежирений сир	10	12
Казеїн	1,6	6,3

Таблиця 13.5

Способи переробки м'яса та ступінь пониження концентрації  
радіоцезію в продуктах

Спосіб	Продукт	Ступінь пониження Cs в продукції
Варіння (30-40 хв)	м'ясо	3-5
Вимивання в проточній воді протягом 12 годин або в розчині кухонної солі	м'ясо	1,3-3
Перетоплення	сало	20

### Хід роботи

1. Виписати вихідні дані згідно з варіантом (табл. 13.6)

Таблиця 13.6

### Вихідні дані

Вміст цезію-137 в кормах (остання цифра номера залікової книжки)		Раціон						
		Сіно		силос	Кормовий буряк	Концерн-трати	Соло-ма	Сінаж
		1 *	2 *					
	0	1450	1112	1230	60	500	2000	400
	1	1024	1270	560	39	200	1520	250
	2	963	1360	230	49	60	456	350
	3	1112	1780	165	87	52	789	500
	4	123	1632	480	20	45	963	268
	5	1260	1258	230	56	75	852	369
	6	2560	4560	153	78	200	741	425
7	1590	1470	562	96	152	546	173	
8	1000	1897	852	10	56	832	189	
9	12584	1365	126	26	250	428	190	

\*Сіно заготовлене з першого (1\*) та другого (2\*) полів

2. Розрахувати вміст радіонуклідів в запропонованих раціонах для відгодівлі телят (сіно – 2 кг; силос – 15 кг; кормовий буряк – 6 кг; концентрати – 3 кг) та харчування дійних корів (сіно – 2,5 кг; сінаж – 10 кг; силос – 25 кг,

коренеплоди (кормовий буряк) – 11 кг; солома – 2 кг; концентрати – 6,5 кг).

Раціон, який складений за поживністю, прораховують для визначення вмісту в ньому радіонуклідів за формулою:

$$A P(A) + B P(B) + \dots = P(\text{раціону}) , \text{ Бк}$$

Де А – кількість корму А в раціоні, кг; Р(А) – вміст радіонуклідів у кормі А, Бк/кг; В – кількість корму В у раціоні, кг; Р(В) – вміст радіонуклідів у кормі В, Бк/кг.

3. Порівняти одержаний результат з допустимим вмістом цезію-137 в раціоні телят та корів. Якщо вміст радіонуклідів у раціоні більший, ніж показники таблиці 13.4, то необхідно замінити корми або зменшити кількість найбільш забрудненого корму.

4. Визначити забруднення м'яса та молока при даному вмісті цезію в раціоні.

5. Результати розрахунків звести у таблицю 13.7.

Таблиця 13.7

Розрахунок рівня забруднення продукції тваринництва

Продукція	Забруднення добового раціону, Бк/добу	% переходу цезію з добового раціону в продукт	Забруднення продукту, Бк/кг	ДР, Бк/кг	Перевищення, %
Молоко	$P_{\text{корів}}$	1	$0,01 P_{\text{корів}}$		
М'ясо	$P_{\text{телят}}$	4	$0,04 P_{\text{телят}}$		

6. Запропонувати способи зменшення вмісту радіонуклідів в продукції шляхом її переробки.

7. Зробити висновки.



### **Питання для самоперевірки**

1. Що спричиняє накопичення радіонуклідів в організмі тварин?
2. Яким чином розраховують вміст радіонуклідів у раціоні тварин?
3. Охарактеризуйте методи зниження вмісту цезію та стронцію у молочній продукції.
4. Який відсоток радіонуклідів переходить з добового раціону тварини в молоко, м'ясо?

### **Практична робота №9**

## **ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ ЗРОШУВАЛЬНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС**

*Мета роботи:* ознайомитися з веденням зрошувального землеробства та навчитися прогнозувати забруднення сільськогосподарської продукції.

### *Основні поняття*

Розвиток атомної енергетики в аграрно розвинених районах супроводжується збільшенням споживання в зрошувальному землеробстві води, яка використовувалася в технологічних цілях на різних етапах ЯТЦ.

Проблема забруднення радіонуклідами сільськогосподарської продукції в південних районах загострилася після катастрофи на Чорнобильській АЕС, так як у води річок потрапили різноманітні радіонукліди за рахунок поверхневого стоку та самоочищення атмосфери.

При зрошенні надходження радіонуклідів в рослини, як правило, посилюється. Розміри накопичення радіонуклідів рослинами залежить від способу поливу, режиму зрошення, хімічного складу та мінералізації поливної води, біологічних особливостей культур. Найбільш високі рівні забруднення продукції радіонуклідами спостерігаються при таких

способах поливу, як дощування, крапельне зрошення, коли радіонукліди потрапляють з поливною водою безпосередньо на наземну частину рослин.

Зростання норми поливу при дощуванні від 100 до 500 м<sup>3</sup>/га та кількості поливів сприяє збільшенню накопичення Cs-137 та Sr-90 в надземній масі рослин в 1.5 – 3.0 рази.

Акумуляція радіонуклідів сільськогосподарськими культурами при зрошенні дощуванням залежить від хімічного складу та мінералізації поливної води. Накопичення Sr-90 у врожаї зернових культур, які зрошуються водою сульфатонатрієвого класу, в 3 – 6 разів менше, як при зрошенні водою інших класів. Максимальне зниження (в 1.3 – 2.5 рази) накопичення Cs-137 у врожаї овочевих культур спостерігається при поливі водою гідрокарбонатно-кальцієвого класу. Система заходів, що спрямовані на пониження вмісту радіонуклідів у врожаї зрошувальних культур, повинна бути різноплановою та залежати від радіаційної обстановки. Доцільно виділити дві основні ситуації.

#### *Ситуація 1*

Радіонукліди містяться лише в поливній воді, а в ґрунті їх немає. Для цієї ситуації рекомендується проводити наступні заходи: зрошення проводити до посіву рослин, у вегетаційний період проводити поливи по борознам оптимальними нормами. У пізніші фази, норми поливу знижуємо до 100 – 200 м<sup>3</sup>/га, проводимо так звані освіжаючі поливи. Використання слабосолонуватої води до 2.5 разів знижує накопичення цезію у врожаї рослин і до 19 разів – стронцію.

#### *Ситуація 2*

Радіонукліди локалізуються лише у ґрунті зрошувальної ділянки, а в зрошувальній воді їх або немає, або їхній вміст не перевищує ТДР. Якщо радіонукліди знаходяться на поверхні ґрунту, то проводять глибоку оранку з попереднім поливом дощування, це дозволяє перемістити забруднений шар ґрунту

на певну глибину і не допустити вторинного забруднення рослин. Вегетаційні поливи проводять будь яким способом.

### Хід роботи

1.Виписати вихідні дані згідно з варіантом (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

#### Вихідні дані

Показники		Остання цифра залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ культури	а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	б	10	9	8	7	6	10	2	5	4	3
		Передостання цифра залікової книжки									
Показники		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вміст радіонуклідів в у воді	Цезій-137, Бк/л										
		20	18, 5	22	11, 8	20	36	11, 5	12	41	32
	Стронцій-90, Бк/л										
		3, 7	6,8	10, 2	15, 6	3, 8	4, 8	3,8	3, 9	11, 5	14, 9

2. Спрогнозувати вміст радіонуклідів у врожаї при різних способах поливу, використовуючи коефіцієнт переходу радіонуклідів з води до рослини (табл.13.2).

Прогноз вмісту радіонуклідів розраховуємо за формулою:

$$C_p = K_p \times C_v \times H_o, \text{ Бк/кг}$$

де:  $C_p$  – концентрація радіонуклідів в рослинах, Бк/кг;

$K_p$  – коефіцієнт переходу радіонуклідів в сільськогосподарські культури, Бк/кг;

$C_v$  – концентрація радіонуклідів в поливній воді, Бк/м<sup>3</sup>;

$H_o$  – зрошувальна норма за період вегетації, м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>.

*Зрошувальна норма* – це кількість води в м<sup>3</sup>, яку подають на 1 га зрошувального поля за вегетаційний період для одержання планової врожайності сільськогосподарських культур. Її визначають як добуток поливної норми (кількість води, яку подають за один полив на 1 га зрошувального поля) на кількість поливів.

3. Розрахунки звести в таблицю 14.3.

4. Порівняти одержані дані, щодо забруднення врожаю при дощуванні та поливу по борознам, запропонувати найефективніший спосіб поливу.

5. При умові, що дана продукція зрошувального землеробства перевищує норми ТДР, запропонувати заходи, щодо зниження вмісту радіонуклідів у продукції.

6. Виділити культури, вміст радіонуклідів в яких перевищує ТДР, вказати відсоток перевищення.

7. Зробити висновок.

Таблиця 14.2

Коефіцієнти переходу радіонуклідів в  
сільськогосподарські культури при різних способах поливу  
(Бк/кг)/(кБк/м<sup>2</sup>)

Культура	Дощування		Полив по борознам	
	Стронцій-90	Цезій-137	Стронцій-90	Цезій-137
1. Кукурудза				
- вегетативна маса	10	33	1,8	0,7
- зерно				
2. Озима пшениця	0,2	1,3	0,1	0,05
- солома				
- зерно				
3. люцерна	10	27	0,5	0,2
4. Огірки	1,2	1,7	0,2	0,02
5. Помідори	33	79	4,0	1,2
6. Морква	0,5	1,5	0,2	0,08
7. Столовий буряк	0,4	0,8	0,2	0,09
8. Цибуля	1,7	0,9	0,6	0,1
- перо	2,5	0,5	0,6	0,1
- цибулина				
9. Капуста				
- листя	2,2	2,7	0,5	0,5
- качан	1,0	0,3	0,4	0,1
10. Картопля				
	5,0	0,7	0,7	0,3
	0,3	0,2	0,2	0,06
	0,05	0,03	0,03	0,20

Кількість поливів за період вегетації поливною нормою 500м<sup>3</sup>/га: капуста – 6, люцерна – 1, решта культур – 3.

Таблиця 14.3

Розрахунок вмісту радіонуклідів в рослинах при різних способах поливу

Культури	Коефіцієнт переходу (Бк/кг)/(кБк/м <sup>2</sup> )				Вміст радіонуклідів в поливній воді, Бк/л	Вміст радіонуклідів в культурах, Бк/кг			
	Cs-137		Sr-90			Cs-137		Sr-90	
	дощування	полив борознами	дощування	полив борознами		дощування	полив борознами	дощування	полив борознами

### Питання для самоперевірки

1. Яким чином можна розрахувати рівень забруднення радіонуклідами продукції рослинництва, коли відомо, що поливна вода містить певну кількість радіонуклідів?

2. Від чого залежить акумуляція радіонуклідів сільськогосподарськими культурами при зрошенні дощуванням?

3. Що таке зрошувальна норма і яким чином вона впливає на накопичення рослинами радіонуклідів при поливі?

4. Обгрунтуйте, чому при різних способах поливу змінюються коефіцієнти переходу радіонуклідів у сільськогосподарські культури.

5. Від яких чинників залежить акумуляція радіонуклідів сільськогосподарськими культурами при зрошенні дощуванням, якщо в поливній воді наявні радіонукліди?

6. Відомо, що зростання норми поливу при дощуванні від 100 до 500 м<sup>3</sup>/га та кількості поливів сприяє збільшенню накопичення Cs-137 та Sr-90 в надземній масі рослин в 1.5 – 3.0 рази, поясніть чому це так відбувається.

#### 4. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Поточний контроль знань здобувачів з навчальної дисципліни «Сільськогосподарська радіобіологія» проводиться у формі захисту практичних робіт і у вигляді комп'ютерного тестування. Контрольні завдання за кожним змістовим модулем включають тестові питання трьох рівнів складності (рівень I – дати одну правильну відповідь на запитання; II рівень – обрати дві і більше правильні відповіді, рівень III – доповнити речення, вставити пропущені слова).

##### Розподіл балів, які отримують здобувачі третього рівня ВО

Поточне тестування та самостійна робота						Підсумковий контроль (залік)	Сума
Змістовий модуль №1				Змістовий модуль №2			
35				25			
T1	T2	T3	T4	T5	T6		
5	5	5	5	10	10	40	100

T1, T2 ... T6 – теми змістових модулів

##### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі форми навчальної діяльності	Оцінка в ECTS	Оцінка за національною шкалою для заліку
90 – 100	<b>A</b>	Зараховано
82-89	<b>B</b>	
74-81	<b>C</b>	
64-73	<b>D</b>	
60-63	<b>E</b>	
35-59	<b>FX</b>	Не зараховано (з можливістю повторного складання)
1-34	<b>F</b>	Не зараховано (з обов'язковим повторним вивченням дисципліни) дисципліни

## 5. САМОСТІЙНА РОБОТА ЗДОБУВАЧІВ

№ з/п	Тема самостійної роботи
1	Радіоактивність та одиниці її вимірювання
2	Використання радіонуклідів у народному господарстві.
3	Надходження радіонуклідів у рослини
4	Рідіобіологія тварин і людини
5	Міграція радіонуклідів у не деревній продукції лісу
6	Радіаційний моніторинг навколишнього середовища

### 5.1 Контроль самостійної роботи

Контроль самостійної роботи з тем і питань, які не розглядалися під час аудиторних занять здійснюється шляхом:

1) включення питань тем самостійного вивчення до поточних тестових контролів знань (тести);

2) включення питань тем самостійного вивчення до підсумкового контролю (тести).

За бажанням здобувача, ним може бути виконане: індивідуальне науково-дослідне завдання з обраної тематики; підготовлений реферат, які оцінюються додатковими балами.

Підсумковий контроль знань відбувається на заліку вигляді комп'ютерних тестів, які включають тестові питання 3-х або 4-х рівнів складності.

Усі форми контролю включено до 100-бальної шкали оцінки.

Розподіл балів за формами і критеріями оцінювання надається здобувачам на початку семестру.

До підсумкового контролю знань допускаються здобувачі, що успішно виконали і захистили практичні роботи.

## **5.2 Підготовка реферату**

Одним із видів самостійної роботи в процесі вивчення навчальної дисципліни є підготовка реферату. Здобувач обирає тему реферату із наведеного переліку.

Теми рефератів:

1. Джерела радіоактивного забруднення зовнішнього середовища.
2. Радіоактивне забруднення природного середовища в результаті аварії на ЧАЕС.
3. Дози випромінювання та їх потужності.
4. Структура та основні напрямки сучасної радіоекології.
5. Історія радіоекології.
6. Радіобіологічні ефекти.
7. Основні події радіобіологічного процесу.
8. Міри радіобіологічних ефектів.
9. Поняття про кисневий ефект.
10. Радіобіологічні ефекти малих доз іонізуючого випромінювання.

## **6. ПИТАННЯ ГАРАНТОВАНОГО РІВНЯ ЗНАНЬ**

1. Історія розвитку та становлення сільськогосподарської радіобіології як науки.
2. Предмет, об'єкт та методи дослідження в радіоекології.
3. Основні завдання науки сільськогосподарської радіобіології
4. Явище радіоактивності та його фізична суть.
5. Альфа, бета, гамма- випромінювання та їх характеристика.
6. Взаємодія випромінювання з речовиною.
7. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.
8. Утворення радіонуклідів та використання їх в народному господарстві.



9. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища.
10. Радіочутливість організмів, рослин.
11. Променева хвороба та її види.
12. Радіаційні синдроми та їх характеристики.
13. Шляхи надходження радіонуклідів в організм.
14. Основні методи захисту організму від опромінення.
15. Забруднення навколишнього середовища в результаті катастрофи на ЧАЕС.
16. Взаємодія радіонуклідів з ґрунтами.
17. Основні закономірності поведінки радіонуклідів в системі ґрунт-рослина-тварина.
18. Організація агропромислового виробництва на територіях, що забруднені радіоактивними речовинами.
19. Прогноз вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції.
20. Характеристика заходів спрямованих на зменшення надходження радіонуклідів в сільськогосподарську продукцію, організм людини.

## **7. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

### **Базова**

1. Клименко М. О., Клименко О. М., Клименко Л. В. Радіоекологія : підручник. Рівне : НУВГП, 2020. 304 с.
2. Клименко М. О. Прищепа А. М. Практикум з радіоекології : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2010. 220 с.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Київ. 1997. 121 с.
4. Фещенко В. П., Борисюк Б. В., Волинчук М. К., Клименко М. О. Метрологія та методологія досліджень в радіоекології. Житомир, 2004. 158 с.
5. Алексахин Р. М. Ядерная энергия и биосфера. Москва : Энергоиздат, 1982. 115 с.

6. Вальтер А. К., Залюбовский И. И. Ядерная физика. Харьков : Вища школа, 1971. 422 с.
7. Гродзинський Д. М. Радіобіологія. Київ : Либідь, 2000. 448 с.
8. Гулякин И. В., Юдинцева Е. В. Сельскохозяйственная радиобиология. Москва : Колос, 1973. 272 с.
9. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. Москва : Энергоатомиздат, 1987. 192 с.
10. Чорнобильська катастрофа / За ред. В. Г. Бар'яхтара. Київ : Наукова думка, 1996. 576 с.
11. Лебедь, О. О., Мислінчук, В. О., Андреев, О. А. Радон: моніторинг та геоекологічний аналіз його впливу на екосистему міста Рівного : монографія. Рівне : РМАНУМ, 2017. 208 с.

### **Електронний репозиторій НУВГП**

1. Клименко М. О. Радіоекологія : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 224 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2263/> (дата звернення 28.12.2020).

### **Інформаційні ресурси**

1. Національна бібліотека ім. В.І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/> (дата звернення 28.12.2020).
2. Рівненська обласна універсальна наукова бібліотека (м. Рівне, майдан Короленка, 6). URL: <http://www.lib.rv.ua/>
3. Наукова бібліотека НУВГП (м. Рівне, вул. Олекси Новака, 75). URL: <https://lib.nuwm.edu.ua/> (дата звернення 28.12.2020).